

INFORME MUNDIAL SOBRE LA CIENCIA 1996



Santillana / Ediciones UNESCO

INFORME MUNDIAL
SOBRE LA CIENCIA
1996

INFORME MUNDIAL
SOBRE LA CIENCIA
1996

Director de redacción: Howard Moore
Subdirectora de redacción: Safoura Clément
Secretaría editorial: Pascale Murugaiyan

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la presentación de los datos que en ella figuran no implican, de parte de la Secretaría de la UNESCO, ninguna toma de posición respecto al estatuto jurídico de los países, ciudades, territorios o zonas, o de sus autoridades, ni respecto al trazado de sus fronteras o límites.

Las ideas y opiniones expuestas en la presente publicación son las propias de sus autores, y no reflejan necesariamente las opiniones de la UNESCO.

Publicado en 1996 por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
7, Place de Fontenoy, 75352 París 07 SP, Francia
y Santillana, S.A. de Ediciones
Elfo, 32 - 28027 Madrid

PRINTED IN SPAIN

Impreso en España por
Gráfica Internacional
San Dalmacio, 25 - 28021 Madrid
Depósito legal: M-39.270 - 1996
ISBN: 84-294-5128-5 (Santillana)
ISBN 92-3-303220-5 (UNESCO)

© UNESCO 1996

Cubierta: Alfred Pasička
Maqueta de Banson
(Londres, Reino Unido)

Prefacio

FEDERICO MAYOR

La publicación de este segundo *Informe Mundial sobre la Ciencia* coincide con la celebración del 50 aniversario de la creación de la UNESCO. Es un momento oportuno para reflexionar y hacer un balance, así como para reafirmar la misión de la Organización en el establecimiento de la paz mediante la cooperación internacional en las esferas de la educación, la ciencia y la cultura. Debemos rendir homenaje a la sagacidad que manifestaron los fundadores de la UNESCO cuando decidieron que la ciencia debía desempeñar un papel importante en el programa de la Organización para propiciar la consecución de sus objetivos de fomento de la paz, las capacidades endógenas y la democracia. El primer Director General de la UNESCO, Julian Huxley, reconoció en 1946 la contribución potencial de la ciencia y la tecnología al desarrollo en su primera publicación sobre la Organización. «La aplicación de los conocimientos científicos –escribía– nos aporta el principal instrumento para elevar el nivel del bienestar de la humanidad.» Aunque conceptos como «el progreso» y «el desarrollo» se han sucedido uno a otro en los decenios ulteriores, la Organización no ha cejado en su convicción de que la ciencia es un impulso esencial del proceso de desarrollo.

Paradójicamente, empero, aunque es casi universal el apoyo a esta idea de la ciencia como motor del mejoramiento económico y social, hemos llegado a la deplorable conclusión de que la distribución de los conocimientos es sumamente asimétrica y que en muchas partes del mundo no existe aún un compromiso político respecto de la ciencia. Como indica la primera parte de este *Informe*, numerosas comunidades e infraestructuras científicas están muy por debajo de lo que se debe considerar como un nivel mínimo viable. Al aprestarnos a cruzar el umbral altamente simbólico del tercer milenio, quizás sea el momento oportuno para invitar a los dirigentes políticos a poner

de manifiesto su compromiso con la ciencia. Un objetivo realista y alcanzable sería que *todos* los países del mundo, en especial los menos adelantados, dedicaran como mínimo un 0,4 % de su producto nacional bruto a la investigación y al desarrollo científicos en el año 2000. Asimismo, como he propuesto en otras oportunidades, los Estados miembros podrían contemplar la posibilidad de asignar a la ciencia y la tecnología al menos el 3 % de la asistencia que reciben del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

En la primera parte del *Informe* se expone la situación de la ciencia en el mundo. La impresión más notable es la de cambio. Los países más ricos necesitan revisar drásticamente sus prioridades y estrategias científicas y tecnológicas frente a las restricciones económicas, la situación de los mercados y los nuevos desafíos políticos –¡y éticos!–; los Estados en proceso de transición económica y social procuran resolver el delicado problema que plantea el establecimiento de nuevas infraestructuras científicas al mismo tiempo que tratan de conservar los aspectos positivos de las antiguas; y los países en desarrollo hacen frente a la dificultad de conseguir la masa crítica necesaria en enseñanza e investigación, esencial para crear capacidades y lograr el desarrollo sostenible. Todos ellos, en alguna u otra medida, están modificando su ámbito científico en función de unas condiciones cambiantes.

En la segunda parte del *Informe* se analizan varios temas importantes que afrontan en la actualidad la ciencia y los científicos. Parecía impensable producir un informe sobre la ciencia sin abordar el aspecto esencial de la ética en esta esfera. Era igualmente ineludible el tema de la cooperación internacional, sin la cual no es viable hoy en día una ciencia en gran escala. Aunque este *Informe*, al igual que el anterior, no pretenda ser enciclopédico, hemos decidido com-

pletar los análisis descriptivos regionales y nacionales con algunos temas ambientales de peso y las tres principales nuevas tecnologías —esto es, biotecnología, tecnología de la información y ciencias de los materiales— que se examinan desde el punto de vista de sus repercusiones en la sociedad y su importancia en las estrategias nacionales de ciencia y tecnología.

El lugar de la mujer en la ciencia ha empezado hace poco a despertar interés y a aparecer en el orden del día de los foros internacionales y en el programa de los gobiernos nacionales. La Cuarta Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre la Mujer, celebrada en Beijing en septiembre de 1995, brindó una importante oportunidad de hacer un balance. En la tercera parte del *Informe* se examina el tema de la situación de los hombres y mujeres en relación con las ciencias y se formulan dos preguntas fundamentales: «Las ciencias, ¿en manos de quién?» y «La ciencia, ¿para quién?» La primera atañe a preocupaciones evidentes relacionadas con el acceso insuficiente de la mujer a la enseñanza y las carreras científicas y la adopción de decisiones en este ámbito; la segunda concierne a los distintos efectos de la ciencia y la tecnología sobre las vidas de hombres y mujeres, y analiza sus necesidades e intereses respectivos. Se estudian algunas de las razones que incitan a los gobiernos y las organizaciones a abordar las desigualdades entre hombres y mujeres en la ciencia y la

tecnología, así como la función de las organizaciones internacionales, tanto gubernamentales como no gubernamentales. El mejoramiento de la condición de la mujer —que también implica que la mujer esté «en el poder» (su representación actual en los cargos directivos y en los parlamentos asciende solamente a 5 % y 10 %, respectivamente)— es esencial para modificar de forma significativa las tendencias actuales.

Si hay un mensaje general en el *Informe* es que la ciencia y la tecnología constituyen un campo de acción cuyas posibilidades hay que aprovechar al máximo para responder a los desafíos mundiales del desarrollo humano sostenible. Esto, a su vez, requiere una distribución más equitativa de los conocimientos científicos entre las sociedades y entre las naciones, así como un compromiso firme respecto de la ciencia por parte del conjunto de la sociedad —comprendidos los ciudadanos corrientes, los políticos y los propios científicos.

Federico Mayor
Director general de la UNESCO

Índice

PREÁMBULO			
<i>Conocimientos científicos básicos</i>			
Francisco J. Ayala	1	<i>Geociencia y medio ambiente: comprender los efectos de las actividades humanas en los procesos naturales</i>	
		Antony R. Berger	228
1 SITUACIÓN DE LA CIENCIA EN EL MUNDO	7	<i>La degradación de la tierra</i>	
<i>Los sistemas de ciencia y tecnología: panorama mundial</i>		Herman T. Verstappen	240
Pierre Papon y Rémi Barré	8	<i>Diversidad biológica</i>	
<i>América del Norte</i>		Francesco di Castri	247
Rodney W. Nichols y J. Thomas Ratchford	23	<i>La biotecnología y el desarrollo</i>	
<i>América Latina</i>		Rita R. Colwell y Albert Sasson	259
Guillermo Cardoza y Raimundo Villegas	47	<i>Las tecnologías de la información</i>	
<i>Europa Occidental</i>		Georges Ferné	277
Ros Herman	65	<i>Ciencia e ingeniería de los materiales</i>	
<i>Europa Central</i>		Lakis C. Kaounides	291
Antoni Kuklinski y Bogdan Kacprzyński	83	3 EL LUGAR DE LAS MUJERES EN LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA	311
<i>Comunidad de Estados Independientes</i>		<i>Marco conceptual</i>	
Leonid Gokhberg	93	Sandra Harding y Elizabeth McGregor	313
<i>Los Estados árabes</i>		<i>Las ciencias, ¿en manos de quién?</i>	
Subhi Qasem	122	Elizabeth McGregor y Sandra Harding	316
<i>África</i>		<i>La ciencia, ¿para quién?</i>	
Thomas R. Odhiambo	138	Sandra Harding y Elizabeth McGregor	332
<i>Asia Meridional</i>		<i>Un potencial por realizar</i>	
A. R. Rajeswari	151	Elizabeth McGregor y Sandra Harding	337
<i>Irán</i>		<i>Perspectivas mundiales</i>	
Cyrus Yeganeh	166	<i>Las dificultades de la interpretación de los datos</i>	
<i>Asia Oriental y Sudoriental</i>		Ann Hibner Koblitz	340
Stephen Hill, Tim Turpin y Heather Spence	171	<i>La mujer en la ciencia: el caso de África</i>	
<i>China</i>		Lydia P. Makhubu	342
Zhou Guangzhao	192	<i>La mujer en la ciencia: el caso de India</i>	
2 LOS DEBATES CONTEMPORÁNEOS	205	Radhika Ramasubban	348
<i>La ética de la ciencia: entre humanismo y modernidad</i>		<i>Protagonistas e iniciativas internacionales</i>	
Noëlle Lenoir	206	Elizabeth McGregor y Sandra Harding	350
<i>La macrociencia</i>		<i>Las mujeres en la investigación científica moderna: reseña histórica</i>	
J. Thomas Ratchford y Umberto Colombo	216	Pnina G. Abir-Am	363

Agradecimientos

La UNESCO desea expresar su gratitud a los siguientes miembros del grupo consultivo *ad hoc* del Informe, que proporcionaron su asesoramiento y ayuda a la planificación general de la obra:

Rémi Barré (Director, Observatoire des sciences et des techniques, París); Jorge Flores (Director del Museo de las Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México); Abdul-Razzak Kaddoura (ex Sub-Director General para la Ciencia, UNESCO); Manfredo Maciotti (ex asesor científico del Director General para la Ciencia, la Investigación y el Desarrollo, Comisión de las Comunidades Europeas, Bruselas); Rodney Nichols (Presidente y Director General de la Academia de Ciencias de Nueva York, Estados Unidos de América); Thomas Odhiambo (Presidente de la Academia de Ciencias de África, Nairobi, Kenya); Geoffrey Oldham (asesor científico del Director General, Centro de Investigación para el Desarrollo Internacional, Ottawa, Canadá); David Price (conservador adjunto, Radcliffe Science Library, Oxford University, Reino Unido); Beatriz Ruivo (Junta Nacional de Investigaçao Cientifica e Tecnologica, Lisboa, Portugal).

Conocimientos científicos básicos

FRANCISCO J. AYALA

Se le atribuye a la revolución copernicana el mérito de haber cambiado el concepto que tenía el hombre de sí mismo y de su lugar en el universo. La Tierra dejó de considerarse el centro del mundo, como creían los antiguos, para pasar a ser un pequeño planeta que gira alrededor de una estrella corriente.

Los descubrimientos de Copérnico, Kepler, Galileo y Newton demostraron ciertamente que el universo es inmenso en el espacio y el tiempo, que los movimientos de los planetas alrededor del Sol se pueden explicar mediante leyes sencillas, las mismas que explican los movimientos de los objetos físicos en la Tierra, y que la gravitación lunar origina las mareas. Éstos y otros descubrimientos expandieron mucho el conocimiento humano, y sin embargo la sustancia de la revolución copernicana estaba integrada en algo más fundamental que la acumulación de descubrimientos particulares, por mucho que fueran maravillosos. El gran logro de la revolución copernicana fue abrir el camino hacia un concepto del universo como materia en movimiento gobernada por leyes naturales, el reconocimiento de que el universo obedece a leyes inmanentes que pueden explicar los fenómenos naturales. Por tanto, los fenómenos físicos pueden predecirse y manejarse de forma fiable cuando las causas se conocen suficientemente. La ciencia se convirtió así en la explicación mediante las leyes naturales. El extenso conocimiento que poseemos del mundo natural es uno de los resultados de la revolución copernicana, y la revolución industrial es otro.

La ciencia es una forma idónea de investigación, pero también de solución de problemas. La ciencia ha aportado así la maravillosa tecnología que invade el mundo moderno: los rascacielos, las autopistas y los puentes larguísimos, los satélites que llevan gente a la Luna, los teléfonos que comunican instantáneamente un continente con otro, los ordenadores que efectúan cálculos complejos en millonésimas de segundo, los cultivos agrícolas que poseen las características deseadas, las vacunas y medicamentos que mantienen a raya a los parásitos y bacterias, y las terapéuticas genéticas que reemplazan el ADN de células defectuosas. Los logros de la tecnología pueden no ser todos únicamente benéficos, pero la ciencia y la tecnología han

cambiado el mundo en que vivimos y seguramente van a seguir haciéndolo en el futuro.

Estas consideraciones sientan la base para el argumento que deseo demostrar, concretamente, que los conocimientos científicos básicos, entendidos como conocimientos funcionales habituales de la ciencia, son tan necesarios como la alfabetización (la lectura y la escritura) para una forma de vida satisfactoria en el mundo moderno. Deseo demostrar que los conocimientos científicos básicos son necesarios para que haya una fuerza de trabajo capacitada, para el bienestar económico y sanitario de la sociedad y de todos sus componentes y para el ejercicio de la democracia participativa.

CONOCIMIENTOS CIENTÍFICOS BÁSICOS

Deseo aclarar desde el comienzo que con la expresión «conocimientos científicos básicos» no me refiero a conocimientos detallados de conceptos científicos como los que vienen en los libros de texto de física, química, fisiología o genética, sino más bien a la comprensión de lo que se podría llamar el enfoque científico o la forma científica de conocer, o inclusive el método científico. Esta comprensión exige que se tengan conocimientos científicos específicos, pero no tienen que ser amplios o detallados, extensivos a muchas disciplinas o profundos. En este sentido, la persona que tiene conocimientos científicos básicos debe saber que la astrología no es una ciencia y que los niños no nacerán con músculos más fuertes simplemente porque los padres hagan gimnasia, pero no hay que esperar que una persona que tiene conocimientos científicos básicos sepa la definición de momento angular o que la expresión del ADN se efectúa por medio de moléculas de ARN de transducción. Tener conocimientos científicos básicos significa que, independientemente de que se esté o no de acuerdo con un programa gubernamental de fluorización del agua o de construcción de una planta nuclear, la decisión que se tome no esté basada en el prejuicio de que todo tipo de aprovechamiento de los recursos naturales es nocivo (o, al revés, claramente beneficioso), ni en la ignorancia de que toda decisión requiere comparar las venta-

jas e inconvenientes, por ejemplo, entre una planta nuclear y una central térmica.

La UNESCO definió la alfabetización como la capacidad de la persona para leer y escribir una declaración simple sobre su vida diaria¹, los conocimientos científicos básicos no significan a mi entender que la persona deba contentarse con un mínimo sino más bien algo que equivalga a lo que recientemente se ha llamado «alfabetización funcional», definida como la capacidad de entender lo leído o lo escrito hasta donde sea suficiente para actuar adecuadamente en la vida social, ya se trate de comunicar con las personas, de mejorar los propios intereses económicos u otros, o de participar en la vida democrática². Los conocimientos científicos básicos implican esta funcionalidad de poder reaccionar de manera significativa frente a las cuestiones técnicas que invaden nuestra vida diaria y el mundo de la acción política.

JUSTIFICACIÓN DE LOS CONOCIMIENTOS CIENTÍFICOS BÁSICOS

La necesidad de poseer conocimientos científicos básicos es universal. Apoyaré esta aseveración con argumentos basados en dos exigencias crecientes de las naciones modernas. En primer lugar, la necesidad de contar con una fuerza de trabajo capacitada técnicamente. En segundo lugar, la necesidad de que los ciudadanos en general juzguen las promesas y acciones de sus gobiernos y los argumentos de los anunciantes de bienes de consumo.

El presidente de Estados Unidos, Bill Clinton, escribió recientemente: «La tecnología —el motor del crecimiento económico— crea empleos, construye nuevas industrias y mejora nuestro nivel de vida. La ciencia es el combustible

del motor de la tecnología»³. No es éste el lugar adecuado para argumentar que la concatenación causal propuesta por Clinton es correcta: ciencia→tecnología→crecimiento económico. Sin embargo, me permito señalar en apoyo de esta relación la fuerte correlación existente entre la importancia de la inversión nacional en investigación en ciencia y tecnología (generalmente evaluada como porcentaje del PIB invertido en I+D) y el nivel de vida y otras medidas del bienestar económico de dicha nación.

Lo que quiero hacer presente es que el sector productivo de la economía de cualquier nación industrial demanda una mano de obra con conocimientos científicos básicos⁴. Así, el bienestar económico de un país depende de que haya altos niveles de conocimientos científicos y técnicos básicos. Los progresos de la ciencia y de la ingeniería son la base de la productividad industrial, pero el desarrollo económico e industrial se debe de forma más inmediata a la adaptación de las ideas científicas: nuevos materiales y procesos de fabricación, aumentos de la productividad y el rendimiento de los trabajadores, control de la calidad de los productos e interés para los consumidores y comercialización. El desarrollo económico depende ciertamente de los científicos e ingenieros que descubren e inventan y de los que desarrollan estas innovaciones, pero el éxito de la aplicación de las innovaciones depende de que haya trabajadores instruidos, capacitados en el funcionamiento de maquinarias, ordenadores, centros de control, información cuantitativa y materiales.

Los trabajadores necesarios para las industrias modernas tienen que entender instrucciones tecnológicamente complejas para manejar equipo y comunicarse y cooperar entre sí en tareas que distan de ser puramente repetitivas. La necesidad y los beneficios de estos conocimientos se

1. Citado por Stephen R. Graubard, en «Nothing to Fear, Much to Do» («Nada que temer, mucho que hacer»), pág. 232, *Daedalus. Journal of the American Academy of Arts and Sciences* (primavera de 1983), vol. 112 (2), págs. 231 a 248.

2. S. R. Graubard define la alfabetización funcional como «la capacidad de leer y escribir que permite actuar de forma eficaz en el grupo o comunidad a que pertenece el individuo». (Véase la nota anterior.)

3. Presidente William J. Clinton y vicepresidente Albert Gore Jr., *Science in the National Interest* (agosto de 1994), Oficina Ejecutiva del Presidente, Washington, D.C., Prefacio.

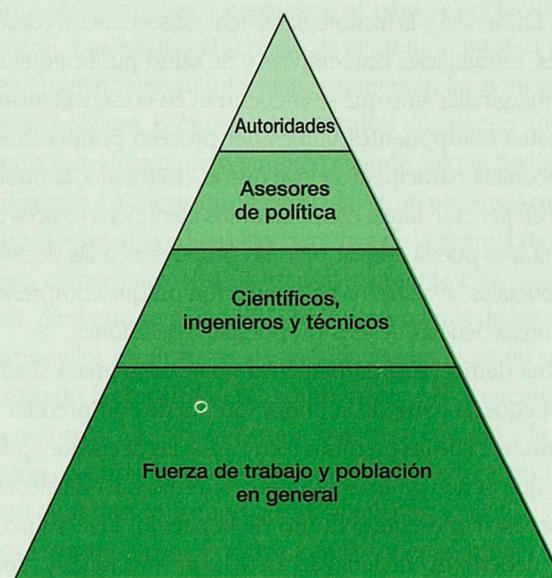
4. En Estados Unidos, el porcentaje de población activa que trabaja en actividades relacionadas con el conocimiento, o sea la que produce, procesa y distribuye bienes y servicios de información, pasó de aproximadamente el 5 % en 1860 a cerca del 50 % en 1980. (Daniel Bell, «The Social Framework of the Information Society», en *The Microelectronics Revolution*, dirigido por Tom Forester, Cambridge: MIT Press, 1981, pág. 521, citado por Herbert J. Walberg en «Scientific Literacy and Economic Productivity», *Daedalus* (1983), vol. 112 (2), págs. 1 a 28.

extienden más allá de la industria a otros sectores de actividad económica como la agricultura. La productividad agrícola, que ha aumentado tanto en décadas recientes en países como Estados Unidos, puede atribuirse en gran parte a la introducción y utilización de prácticas agrarias modernas y al uso de maquinaria eficiente que exige operadores calificados.

Los conocimientos científicos básicos también son necesarios para participar públicamente de manera informada en la vida política y pública de una nación. Se requiere información sobre tecnología y asuntos científicos para un número cada vez mayor de decisiones tomadas a los más altos niveles gubernamentales. Decidir si se construye o no un sistema de autopistas y dónde y cuándo, cómo decidir el desarrollo de fuentes de energía térmica, hidráulica o nuclear, o cómo proteger y mejorar el suministro de agua y la calidad del aire, la explotación de los recursos minerales o marinos y la preservación y el uso comercial de los bosques, los ríos y las costas figuran entre las numerosas decisiones políticas que no se pueden tomar idóneamente sin conocimientos científicos y tecnológicos. Las autoridades tienen que confiar en asesores capacitados científica y tecnológicamente para asesorar idóneamente sobre esta clase de temas a los funcionarios públicos y otros interesados. Además, las propias autoridades tienen que tener conocimientos científicos básicos para interpretar, evaluar y utilizar los consejos de los expertos con el fin de tomar decisiones y ejecutarlas mediante el proceso político. Los legisladores elegidos democráticamente y los funcionarios públicos son los representantes del pueblo y deben asumir la responsabilidad de sus decisiones en lugar de delegarlas simplemente a los expertos.

La participación del Estado en el proceso de toma de decisiones en materia de ciencia y tecnología se puede representar mediante una pirámide (Gráfico 1)⁵. En la cima están los funcionarios públicos (de los poderes ejecutivo, legislativo y judicial) encargados de tomar y ejecutar decisiones políticas; inmediatamente por debajo están los asesores de política: expertos que efectúan el análisis científico

GRÁFICO 1
PIRÁMIDE DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEL ESTADO



tecnológico de los temas por encargo de las autoridades, incluidas las consecuencias económicas y de salud pública. El tercer nivel está representado por los científicos, los ingenieros y los técnicos que reúnen la experiencia tecnológica del Estado, que ponen en movimiento el motor industrial y tecnológico introduciendo nuevas invenciones, desarrollando tecnologías, mejorando los procesos de fabricación, etc.

En la base de la pirámide está la fuerza de trabajo, que en su gran mayoría participa en el sector productivo de la economía. Como ya he dicho, esa fuerza de trabajo tiene que tener conocimientos científicos básicos para poder satisfacer las necesidades de la industria y el comercio modernos. Desde la perspectiva de la práctica política y el ejercicio de las libertades y los poderes democráticos, es evidente que el público en general tiene también que incluirse en la

5. La pirámide aquí utilizada se deriva de una representación propuesta por Gabriel Almond, *The American People and Foreign Policy* (Nueva York: Harcourt Brace, 1950).

amplia base de la pirámide científica porque todos los ciudadanos participan (o deberían participar) en la elección de los funcionarios públicos, cuya selección se hace sobre la base de su actuación o de las promesas de un programa político. La ciencia y la tecnología tienen consecuencias comerciales, estratégicas, burocráticas y de salud pública que no son marginales sino que se encuentran en la esencia misma de estos componentes vitales del proceso político. Una democracia participativa exige que el electorado, la población en general, tenga conocimientos científicos básicos de forma que pueda apoyar o no las propuestas o las decisiones oficiales, avalando o no su elección porque comprende las consecuencias de esas propuestas o decisiones.

Una democracia participativa no se consumará si sólo una pequeña parte de la población puede comprender la importancia de las premisas técnicas de las decisiones políticas que tienen grandes efectos económicos y que afectan el bienestar presente y futuro de la nación. Los ciudadanos pueden y deben tener acceso a las afirmaciones y réplicas de los expertos contendientes, pero un público que no tenga la más mínima idea de los temas técnicos que están en juego expondrá el proceso democrático a su explotación por grupos de intereses, demagogos o incluso falsarios (de los que envuelven bajo la capa de la ciencia falsas ciencias como la astrología o la parapsicología). Al público no hay que inculcarle conocimientos científicos como los que se imparten en las clases y en los libros de ciencias, sino que hay que capacitarlo para, por lo menos, evaluar la racionalidad de los argumentos presentados por los expertos y entender las implicaciones económicas, de conservación de la naturaleza o relacionadas con la salud.

La elaboración de políticas comienza con el planteamiento de hipótesis bien documentadas sobre lo que el futuro pueda reservar al país como consecuencia de las actuaciones del gobierno. Las personas que tengan conocimientos científicos básicos estarán capacitadas para evaluar los planes presentes, las promesas o los programas políticos comparándolos con anteriores tendencias y resultados. Los conocimientos científicos básicos bastarán frecuentemente para desenmascarar promesas vacuas de programas que se pretende no van a tener costo social o de decisiones

ambientales que no van a tener riesgo, y la propaganda engañosa de bienes de consumo. En el caso de temas complejos, el público debería por lo menos poder evaluar la coherencia de los análisis de los comentaristas políticos, los críticos sociales y los medios de información responsables.

EL PAPEL DEL COLEGIO

Para adquirir conocimientos científicos básicos es preciso que en los colegios se imparta enseñanza científica significativa. El problema de la enseñanza de la ciencia en los colegios es demasiado amplio, complejo y difícil para examinarlo aquí, pero quiero presentar brevemente tres puntos.

El primer punto es que la enseñanza de la ciencia debe ser para *todos* los alumnos. Si se acepta el argumento que esboqué anteriormente, esto es lógico. La enseñanza de la ciencia en las escuelas de primaria y los colegios de secundaria debe satisfacer varios objetivos. Debe preparar a los alumnos que van a seguir estudios de ciencia e ingeniería en escuelas técnicas, facultades y universidades para convertirse en los científicos y los ingenieros que ocuparán posiciones clave en el desarrollo industrial y económico de los países modernos (es decir, las personas que forman el segundo segmento de la pirámide de ciencia y tecnología). Los colegios también deben preparar la fuerza de trabajo que requieren las industrias basadas en la ciencia y las empresas, cada vez más numerosas, que también requieren mano de obra técnicamente calificada. Por último, los colegios deben satisfacer el objetivo de preparar para la democracia participativa, lo que en mi opinión exige un entendimiento mínimo de la naturaleza del conocimiento científico a fin de que los individuos puedan tomar decisiones personales que les afectan en su vida diaria y en su participación en el conglomerado político. Estos amplios objetivos hacen imperativo que la enseñanza de la ciencia comience en los primeros cursos de la escolaridad y continúe durante todos los años de la educación obligatoria.

Prácticamente en todos los países hay descontento con respecto a la enseñanza científica que se imparte en los colegios. Esta observación me lleva a un segundo punto. La ciencia se enseña en los colegios sobre todo en su ver-

tiente teórica, como algo que se aprende en un texto y que más tarde se repite en los exámenes. Sin embargo, parece haber pruebas abundantes de que la ciencia se aprende mucho mejor (y los alumnos pueden sentirse más atraídos por su aprendizaje) cuando se enseña de forma práctica, ilustrando los principios con observaciones y experimentos, lo que en la enseñanza primaria y gran parte de la secundaria puede derivarse simplemente de la experiencia diaria de los alumnos⁶.

El último punto que deseo hacer presente se refiere a la enseñanza de la ciencia en países en que el índice de alfabetización general es bajo, en pueblos y zonas remotas, o donde la escolarización dura pocos años y el equipo disponible para la enseñanza es escaso o inexistente. Es muy fácil medir, contar y clasificar en un aula y su medio circundante (los propios alumnos y los objetos de la clase pueden servir para muchos fines). La relación entre forma y número se puede enseñar haciendo que los niños y las niñas participen en labores de costura, tejido, carpintería, teneduría de libros y cartografía. Del mismo modo, se pueden usar para enseñar física el calor y la luz, y el sonido y el movimiento. Para enseñar biología se pueden aprovechar las experiencias de crecimiento y nacimiento de las familias, el crecimiento de las plantas y los animales, las consecuencias fisiológicas de las estaciones y muchas otras experiencias inmediatas de los niños. Lo que quiero demostrar, en general, es que no sólo una enseñanza adecuada de la ciencia en la escuela elemental y gran parte del colegio de secundaria no requiere equipo técnico, sino también que dará muchos mejores resultados si aprovecha la experiencia diaria de los alumnos.

El éxito de los resultados de la enseñanza de ciencias y matemáticas dependerá evidentemente en gran parte de la preparación y dedicación de los maestros de primaria y los

profesores de secundaria, tema que aquí no entra dentro de mis objetivos.

Terminaré destacando que la enseñanza de la ciencia no tiene que finalizar al concluir la escolaridad, ni para los que van a ser científicos e ingenieros ni para la población en general. Los medios al servicio de la opinión pública pueden enseñar cuando informan y comentan las noticias de temas políticos, económicos y de salud que tienen importancia tecnológica, pero también cuando sólo se dedican a entretener. La televisión en particular es un poderoso medio para continuar la educación científica de la gente. Los intereses comerciales obstaculizan actualmente esta posibilidad, pero esto se debe a que los informadores de los noticiarios y los productores de programas temáticos no saben transmitir la emoción del descubrimiento y el conocimiento tecnológico. Ya es hora de que la prensa, la radio y la televisión contribuyan a impartir los conocimientos científicos básicos al mismo tiempo que desempeñan sus demás funciones propias pero esenciales en la sociedad moderna.

Francisco J. Ayala es profesor de la cátedra Donald Bren de ciencias biológicas y profesor de filosofía de la Universidad de California en Irvine, y es miembro del Comité de Asesores de Ciencia y Tecnología del Presidente de los Estados Unidos. En febrero de 1993 fue elegido presidente de la Asociación Estadounidense para el Progreso de la Ciencia, la organización científica más grande del mundo. Actualmente es presidente de la Junta de dicha Asociación. El profesor Ayala ha ocupado puestos importantes en muchas otras asociaciones profesionales y ha sido miembro de diversos organismos consultivos nacionales. Imparte clases y dicta conferencias en universidades e instituciones de Estados Unidos y otros países, y ha publicado más de 500 artículos y 10 libros.

6. Se ha publicado mucho sobre la enseñanza científica en escuelas y colegios. Un ejemplo notable que cabe mencionar es el «Proyecto 2061», de largo alcance, de la Asociación Estadounidense para el Progreso de la Ciencia. Este plan, de tres fases, se inició en 1986 para mejorar la enseñanza escolar de ciencias, matemáticas y tecnología. La primera fase, terminada en 1988, se centró en la sustancia de la enseñanza de conocimientos científicos básicos y dio como resultado varios documentos del que el más importante es *Science for All Americans* (1988, Washington, D.C.: Asociación Estadounidense para el Progreso de la Ciencia). La segunda fase ha contado con grupos de educadores y científicos que han transformado la sustancia de *Science for All Americans* en diversos modelos de programa de estudios para su utilización en diferentes contextos económicos, culturales y sociales. Un resultado importante de la segunda fase es *Benchmarks for Science Literacy* (1993, Nueva York: Oxford University Press). La tercera fase está concebida como un amplio esfuerzo de colaboración durante diez o más años en el que participarán muchos grupos para utilizar los recursos de las fases 1 y 2 con el fin de alcanzar el objetivo de impartir conocimientos científicos básicos en toda la enseñanza escolar.

1

SITUACIÓN DE LA CIENCIA
EN EL MUNDO

Los sistemas de ciencia y tecnología: panorama mundial

PIERRE PAPON Y RÉMI BARRÉ

En todas las civilizaciones, el ser humano ha sentido la necesidad de conocer y entender el mundo y la sociedad en que vive y ha sido necesario organizar progresivamente la actividad de producción de conocimientos nuevos. Así fue como apareció la investigación científica, cuya finalidad es realizar mediciones, concebir experimentos y modelos teóricos para entender e interpretar los fenómenos naturales y desvelar las estructuras de la materia y de lo vivo, entre otras cosas. Paralelamente la tarea de inventar técnicas nuevas se convirtió en una actividad fundamental en las sociedades industriales, actividad que, a partir de la segunda mitad del siglo XIX, se relacionó en gran medida con la investigación científica.

A largo plazo ninguna civilización ha tenido el monopolio de la investigación científica y el desarrollo tecnológico. Tanto las ciencias como las técnicas son producto de la historia: el lugar destacado que ocupan actualmente la ciencia y la tecnología es el resultado de una larguísima evolución durante la cual han aparecido progresivamente la «ciencia moderna» y los saberes técnicos que han dado cuerpo a la tecnología. Cada civilización ha dejado su impronta en unas instituciones científicas que permiten realizar una actividad científica y tecnológica, en mayor o menor simbiosis con su organización social, su cultura y sus estructuras políticas. China y los países musulmanes habían llegado a dar una forma relativamente organizada y desarrollada a la actividad científica mucho antes que los países europeos y a ellos les debemos importantes descubrimientos en los campos del magnetismo, la acústica y la óptica. Muchas grandes ciudades del mundo islámico contaron muy pronto con observatorios astronómicos: los de Bagdad, El Cairo y Samarkanda ocuparon un lugar relevante en el desarrollo de la astronomía ya desde el siglo IX. En los países musulmanes el sistema de enseñanza fue el principal instrumento para la difusión de los conocimientos; así se explica que una universidad como la de al-Azhar de El Cairo haya sido una precursora en este terreno. En China, el Estado imperial había instaurado una administración con funciones muy amplias, en la que la producción de conocimientos científicos y técnicos revestía importancia. Por ejemplo, se consideraba que la astronomía era,

hasta cierto punto, una ciencia oficial porque en un país agrario los astrónomos se dedicaban a confeccionar calendarios oficiales; lo mismo ocurría con las matemáticas, la física y, sobre todo, la hidráulica. Por consiguiente, la mayoría de las sociedades trató, desde una fecha temprana, que la actividad de producción sistemática y organizada de los conocimientos científicos y tecnológicos –vale decir, lo que actualmente llamamos investigación y desarrollo– fuera estable y viable a largo plazo.

Sin embargo, fue en Europa occidental donde la ciencia se institucionalizó de manera estable a partir del siglo XVI, al tiempo que afirmaba su autonomía con respecto a la filosofía y a la teología. Fue también una época en la que la expansión del comercio internacional debida a los grandes descubrimientos marítimos favoreció la aparición en Europa de una clase de comerciantes dispuestos a utilizar las innovaciones técnicas. A partir de esa época y durante mucho tiempo, la actividad de los sabios –todavía no se hablaba de «investigación científica»– tuvo lugar en las academias y en las cátedras de enseñanza de las universidades y grandes escuelas. La primera institución científica de la época moderna en Occidente fue la Academia dei Lincei, fundada en Roma en 1609, de la que fue miembro Galileo. Las academias de ciencias de Londres y París, creadas respectivamente en 1660 y en 1666, fueron auténticas innovaciones institucionales: se dieron por misión sustituir la especulación puramente filosófica por la observación y la experiencia. Instituyeron así un nuevo tipo de relación entre la ciencia y el poder político que permitía asignar a la actividad científica –y, por lo tanto, a la investigación– un «estatuto» social con un reconocimiento político.

Desde entonces, esta institucionalización de la investigación científica ha proseguido y se ha consolidado, en particular a partir del siglo XIX, pues tanto científicos y administradores de universidades ilustrados como políticos clarividentes tomaron conciencia en Europa de que la producción de los conocimientos no podía seguir siendo únicamente una cuestión de personalidades brillantes pero aisladas. La investigación exige medios considerables, como laboratorios con aparatos o profesores ayudados por equipos de estudiantes, investigadores y técnicos. La

creación en 1911 de la sociedad de investigación Kaiser Wilhelm (actualmente llamada Sociedad Max Planck) constituyó un auténtico hito, ya que por primera vez un Estado, Alemania, creaba institutos de investigación al margen del sistema universitario.

Muchos países europeos siguieron este ejemplo después de la Primera Guerra Mundial, en particular Francia, que fundó el Centre National de la Recherche Scientifique (Centro Nacional de Investigación Científica) en 1939, y China, que creó la Academia de Ciencias. En esa época la industria creó igualmente sus propios laboratorios de investigación, de manera que los descubrimientos científicos dieron lugar a innovaciones tecnológicas, muy especialmente en el campo de la química orgánica.

Actualmente la ciencia y la tecnología son elementos fundamentales de la actividad humana que determinan en gran medida la forma en que nuestras sociedades ven el futuro y les permiten satisfacer demandas económicas, sociales y culturales. Por esta razón, el apoyo a la investigación científica que genera conocimientos nuevos y la promoción de la innovación tecnológica ya son partes integrantes de las políticas públicas, con sus componentes económicos, sociales y militares, y de las estrategias de empresas industriales. Para adoptar decisiones en relación con el inicio de programas de investigación, la valorización y transmisión de los resultados de la investigación pública, el fomento de las innovaciones y las estrategias de investigación industrial, la atención a la demanda social, el establecimiento de programas de cooperación internacional y la formación de especialistas se precisan múltiples agentes e instituciones. Todo esto constituye un auténtico «sistema» de ciencia y tecnología, con sus componentes nacionales e internacionales. La tarea de las políticas nacionales de investigación y tecnología y de los grupos industriales es hacer que este sistema esté vivo y en evolución. En el plano nacional, la función de los ministerios que tienen a su cargo la investigación consiste esencialmente en poner en claro lo que está en juego y determinar las prioridades sopesando los distintos elementos, en el marco de estrategias que respondan a las ambiciones colectivas.

LAS PRINCIPALES FINALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN Y LA TECNOLOGÍA

Como la mayoría de las actividades de desarrollo tecnológico, la investigación científica precisa actualmente en todos los países que se movilizan competencias de un gran número de profesionales (universitarios, investigadores, ingenieros y técnicos), pues el mundo de la ciencia y la tecnología se ha profesionalizado. Evidentemente, la finalidad de estas actividades y, por tanto, las funciones que desempeñan estos profesionales son múltiples. Esquemáticamente se pueden clasificar en cinco grandes categorías:

Producción de conocimientos científicos y tecnológicos básicos

Es el objetivo principal de la investigación básica o fundamental. En general, tiene una perspectiva a largo plazo y sus resultados se dan a conocer en artículos de revistas científicas (hay casi 75.000 títulos registrados de publicaciones periódicas especializadas de todas las disciplinas) y se dan a conocer en congresos. Esta actividad contribuye también a alimentar bases de datos.

Formación

En todos los sistemas universitarios, los profesores participan en una actividad de investigación, que constituye una garantía de la calidad de la enseñanza superior y es una actividad instructiva para los estudiantes, más particularmente para los que empiezan a preparar una tesis. Es de destacar que actualmente en muchos países esta actividad de formación también corre a cargo de investigadores e ingenieros de investigación de laboratorios públicos y privados; con cada vez más frecuencia se realiza en el marco de programas internacionales de cooperación.

Producción de conocimientos y competencias necesarios para las políticas del sector público

Una parte muy importante de la acción gubernamental consiste en definir normas y reglamentos técnicos mediante distintos tipos de procedimientos que podrían calificarse de «práctica diaria de la competencia científica

y de la evaluación tecnológica» y está a cargo de comisiones cuya tarea es controlar nuevos productos químicos y farmacéuticos, evaluar los riesgos industriales y tecnológicos, observar constantemente la calidad de las aguas, etc. Todas estas actividades se fundan en la competencia de los investigadores (y, por tanto, en una investigación con una finalidad específica), la mayoría de los cuales trabaja en establecimientos públicos.

El medio ambiente, la salud y la industria agroalimentaria son algunos de los sectores en los cuales los conocimientos técnicos cada vez ocupan un lugar más importante en nuestra sociedad; con ellos se llevan a cabo las evaluaciones y los diagnósticos e informes en los que se analizan situaciones y problemas técnicos de todo tipo (estado del medio ambiente en un lugar determinado, seguridad de una instalación industrial, etc.). En muchos países, los organismos de investigación tienen la doble función de promover la investigación en su ámbito de competencia y poner su saber al servicio del Estado para preparar las decisiones políticas o administrativas fundándose en puntos de vista científicos. Gracias al desarrollo de una investigación científica y tecnológica de alto nivel, el Estado dispone de competencias especializadas que le son indispensables para cumplir sus funciones.

La contribución a los programas estratégicos del Estado

A menudo, los Estados modernos tienen objetivos «estratégicos», en el sentido lato de la palabra, que corresponden a importantes prioridades públicas nacionales: suelen inscribirse en una lógica de poder, ya que desean disponer de complejos sistemas de armamentos sin depender del extranjero, contar con satélites para asegurar el control sobre sus propias telecomunicaciones y garantizar su independencia en materia de energía. Para alcanzar estos objetivos tienen que aplicar programas en gran escala de «investigación y desarrollo» (I+D) en grandes organismos públicos que se dedican, por ejemplo, a la investigación nuclear o espacial. Por lo menos en los países industrializados, estos programas también tienen lugar en laboratorios de empresas industriales, del sector público o privado,

en campos como la electrónica y la aeronáutica. Los resultados de las investigaciones realizadas en este marco no suelen publicarse, ya que existe en torno a ellas una competencia internacional que no se rige por el libre juego del mercado. Recientemente esta noción de programas estratégicos se ha hecho extensiva a sectores industriales que se consideran prioritarios, como las telecomunicaciones y algunas tecnologías de producción como, por ejemplo, la robótica.

La participación en la innovación industrial

La fase de I+D («investigación y desarrollo») precede a la innovación, es decir, a la primera utilización o comercialización de los bienes o los servicios. Por ello, especialmente en las empresas industriales, los científicos y los ingenieros de investigación participan en un proceso que conduce a la elaboración de nuevos productos y procedimientos que después se industrializarán y comercializarán. Las actividades de investigación, que suelen ser investigaciones aplicadas o con una finalidad específica, obedecen con frecuencia a una lógica económica basada en el fomento de la innovación por las empresas. No obstante, es de destacar que no todas las innovaciones son producto de la investigación, sino que también pueden provenir de oficinas de proyectos, servicios de fabricación, la industria y el sector terciario (con cada vez más frecuencia los propios programas informáticos son innovaciones).

Puede decirse por analogía con la investigación científica que la patente es el producto básico de la actividad tecnológica. Es un bien inmaterial, como una publicación científica, pero confiere al titular un monopolio y, a diferencia de aquélla, tiene un valor comercial. La patente reconoce un invento, como, por ejemplo, un procedimiento industrial, un nuevo producto material, entre otras cosas. En el plano cuantitativo, se señalará que para todos los campos tecnológicos considerados en su conjunto, en los Estados Unidos, inventores de distintas nacionalidades registraron 81.000 patentes en 1991 (contra 62.000 en 1986) y en Europa, 41.000 (patentes registradas directamente por «canales europeos»).

Las innovaciones tecnológicas también se incorporan a los bienes de capital y a los componentes de diversos tipos que las empresas conciben o utilizan con fines de producción. Por ejemplo, en una línea de montaje de la industria del automóvil se utilizan numerosos ordenadores para pilotar los robots que intervienen en el proceso de fabricación. La innovación es, por consiguiente, producto de procesos muy diversificados.

Todas estas actividades científicas y tecnológicas—algunas de ellas muy antiguas, como se ha visto— están comprendidas en un concepto que apareció paulatinamente a principios de los años 60: el de I+D o investigación y desarrollo. Los trabajos de la OCDE sobre las estadísticas de lo que se gasta en investigación han influido en gran medida en que los expertos hayan convenido en una tipología común que corresponde a lo que desde hace treinta años se denomina *Manual de Frascati*. En este manual se definen tres categorías de actividades de I+D.

La *investigación fundamental* abarca todos los estudios experimentales y teóricos destinados a adquirir conocimientos básicos sobre los fenómenos y hechos observables, sin que los investigadores tengan *a priori* ninguna perspectiva de aplicación de sus trabajos. Figuras destacadas de la ciencia, como Albert Einstein, Max Planck, Vantaka Raman, Jacques Monod y otros muchos trabajaron y trabajan con esta mentalidad; podemos calificarlos de «fundamentalistas».

En cambio, la *investigación aplicada* comprende las actividades originales cuyo objetivo es adquirir nuevos conocimientos con miras a una aplicación práctica (por ejemplo, industrial). Los trabajos que en el siglo XIX realizó L. Pasteur sobre la fermentación o la enfermedad del gusano de seda eran investigaciones aplicadas, aunque algunos de los descubrimientos que hizo con ellos fueron en realidad de carácter «fundamental». Queda, por último, una tercera categoría de actividades, las de *desarrollo experimental*. Se trata de estudios sistemáticos basados en conocimientos existentes obtenidos mediante la experiencia práctica con miras a fabricar nuevos productos o a ultimar nuevos procedimientos industriales. Así fue como el descubrimiento de nuevos polímeros en los laboratorios de

investigación posibilitó la fabricación de materias plásticas, pero el paso a la fase industrial tuvo que estar precedido de nuevas actividades de desarrollo, para las cuales fueron necesarias instalaciones de ensayo y refinado.

Se ve el lugar que ocupan la investigación fundamental, la investigación aplicada y el desarrollo en relación con la tipología de actividades científicas y tecnológicas por la que se ha optado, vale decir, las cinco categorías anteriores. Aunque la frontera entre la investigación fundamental y la investigación aplicada suele ser imprecisa, se puede comprobar que en casi todos los sistemas nacionales de ciencia y tecnología son las empresas privadas y algunos organismos tecnológicos oficiales (por ejemplo, centrales nucleares civiles y militares o institutos de investigación sobre el petróleo) los que realizan casi todas las operaciones de desarrollo, ya sea en relación con el objetivo de promover la innovación industrial o en estrecha vinculación con programas estratégicos estatales. Muy a menudo la investigación fundamental está relacionada con la formación mientras que la aplicada se lleva a cabo en instituciones que producen los conocimientos y competencias técnicos necesarios para las políticas oficiales (en esferas como la salud pública, el medio ambiente, los recursos marinos, los transportes, etc.) como en las dedicadas a la preparación de programas estratégicos oficiales y, por supuesto, en los laboratorios de investigación industrial.

Como cualquier otra clasificación, la del *Manual de Frascati* da pie a la crítica. Cabe preguntarse si es necesaria una taxonomía de las actividades científicas y tecnológicas aceptada por todos. En realidad, este afán de clasificación no es sólo una obsesión de los estadísticos o los administradores de entidades de investigación y tecnología, sino que está motivado, en cada país, por la voluntad de las autoridades políticas y administrativas y los directores de empresas de asentar sus decisiones estratégicas en bases sólidas. Las limitaciones presupuestarias de estos últimos años y las necesidades de volver a orientar programas para tomar en cuenta prioridades nuevas han afianzado esta voluntad.

Por otra parte, es preciso reconocer que aunque la noción de «Desarrollo» está más o menos clara cuando se refiere a actividades industriales, es mucho más imprecisa

cuando se trata de actividades que tienen una finalidad militar como la fabricación de nuevos armamentos. En efecto, los Ministerios de Defensa de los grandes países industriales (los Estados Unidos, Francia, el Reino Unido, Rusia, etc.) consideran que forman parte de esta categoría los ensayos de prototipos (por ejemplo, de aviones militares), que, por lo general, son costosos. Por tanto, habrá que ser prudente al analizar las estrategias nacionales de I+D ya que en algunos países el concepto de desarrollo se ha ampliado para abarcar determinadas actividades que tienen finalidades militares.

De igual modo, la dicotomía investigación fundamental/investigación aplicada no es siempre pertinente desde el punto de vista científico o económico. Por ejemplo, las investigaciones para entender la función del bióxido de carbono o de determinadas sustancias químicas en el efecto invernadero ¿son fundamentales o aplicadas? Hay que reconocer que a veces la distinción resulta engañosa. En algunos países industrializados o en desarrollo, donde las investigaciones del sector público son muy importantes, es preciso establecer una distinción dentro de los gastos públicos de I+D entre los que se destinan a la investigación fundamental (o investigación básica) y los que corresponden a programas de investigación de interés colectivo.

En campos como la salud pública, el medio ambiente, la energía, las telecomunicaciones y los transportes, organismos estatales de investigación llevan a cabo investigaciones básicas y aplicadas que guardan una relación directa con funciones sociales en su sentido amplio, como, entre otras cosas, mejorar la salud de nuestros conciudadanos o entender las formas en que evoluciona nuestro medio ambiente. Gran parte de sus trabajos tienen, por tanto, una finalidad concreta; se puede estimar que son investigaciones encaminadas específicamente a satisfacer una necesidad social. En la terminología anglosajona de I+D se dice que estas investigaciones están orientadas hacia un propósito («*mission oriented*»). Hasta cierto punto son actividades que se encuentran en el límite entre la investigación fundamental y la investigación aplicada. Se puede clasificar en esta categoría gran parte de las investigaciones relativas a las ciencias biomédicas (por ejemplo, las que

tienen que ver con el virus del sida, las enfermedades tropicales o la epidemiología), al medio ambiente, al control de la energía, a las ciencias de la ingeniería, a las investigaciones tecnológicas básicas de informática y robótica, etcétera. Estos estudios se llevan a cabo en institutos, consejos y organismos de investigación de carácter público en relación con las administraciones o grandes servicios públicos y, por tanto, con las políticas públicas de interés nacional.

LOS INDICADORES

Los indicadores científicos y tecnológicos son unidades de medida cuantitativas de los parámetros que definen el estado y la dinámica de los sistemas de investigación y tecnología. Las posibles utilizaciones de los indicadores son muy diversas: panorama nacional para los que toman las decisiones de política científica o el poder legislativo; análisis estratégicos para decisiones adoptadas por instituciones de investigación, inspección científica y tecnológica, evaluación de programas, etc. Un número creciente de dirigentes con responsabilidades en las esferas científicas y tecnológicas tiene que afrontar decisiones y opciones que han de basarse en estos indicadores.

En el plano mundial, se utilizan tres tipos de indicadores que permiten efectuar comparaciones regionales o interregionales, a saber:

Recursos consagrados a las actividades de C&T
La medida de estos recursos se efectúa en cada país, mediante encuestas nacionales sobre gastos de C&T y personal científico.

Medida de la producción científica por las publicaciones
La actividad científica se mide por su capacidad de producción de publicaciones científicas (bibliometría de la ciencia). Además, una publicación es un producto básico de la labor científica pero no el único, como hemos visto. La ciencia genera también otros productos, por ejemplo, la formación superior o la competencia técnica. El indica-

dor se centra, en este caso, en un aspecto específico de la investigación científica.

Los indicadores correspondientes se han calculado a partir de las bases de datos del *Science Citation Index* (SCI) y de *Compumath*, establecidas por el *Institute for Scientific Formation* con sede en Filadelfia (EE.UU.). Estas bases de datos contienen referencias de las publicaciones de 3.500 revistas científicas, clasificadas en ocho disciplinas.

Medida de la producción tecnológica por las patentes

La actividad tecnológica se mide por la producción de patentes (bibliometría de patentes), que muestran el grado de inventiva y creatividad en la esfera de la tecnología con fines industriales.

Estos indicadores se han utilizado y definido más plenamente en el primer *Informe Mundial sobre la Ciencia*, publicado en 1993. A pesar de sus imperfecciones, son los medios más universalmente aceptados para medir y comparar las actividades de C&T en el mundo. Algunas de sus limitaciones se exponen brevemente a continuación:

- *En los indicadores de recursos*, las dificultades estriban, por un lado, en la definición de la actividad de investigación y del investigador, que pueden variar considerablemente de un país a otro, y, por otro lado, en la falta de tipos de cambio fiables «en paridad de poder adquisitivo» para la mayoría de los países, lo cual implica incertidumbre al realizar una conversión a una moneda determinada con miras a efectuar una comparación internacional. Otro aspecto es que los indicadores de recursos efectúan poca o ninguna distinción entre las disciplinas científicas y tecnológicas.
- *En los indicadores de producción científica* (publicaciones), la evaluación del error posible implica preguntarse por la representatividad de las revistas científicas catalogadas en las bases de datos de que se trate, es decir, SCI y *Compumath* en el presente caso. Aunque en estas bases se utilizan criterios sólidos de selección de publicaciones (para escoger una publicación, sus artículos deben haber sido objeto de un promedio de citas situado por encima de un umbral determinado), es evidente que hay

una representación excesiva de revistas de países desarrollados publicadas en inglés.

Este asunto ha sido objeto de numerosos debates y suscita un verdadero problema para la difusión de la investigación realizada en países en desarrollo. En efecto, los investigadores de esos países se encuentran ante el siguiente dilema: o bien publicar los resultados de su trabajo en revistas nacionales, que carecen de difusión mundial y no están catalogadas en las principales bases de datos; o bien tratar de publicar en las más prestigiosas revistas internacionales y privar de su contribución a las de su propio país. Los editores de las revistas nacionales también se quejan de lo difícil que resulta su aceptación en las bases de datos importantes.

Un cierto número de organizaciones internacionales y nacionales están examinando este problema, para encontrar una solución que incremente la difusión de los resultados de la investigación científica procedentes de los países en desarrollo, mejore la calidad y periodicidad de las revistas nacionales, y cree bases de datos regionales.

- *En los indicadores de producción tecnológica* medida por patentes, la evaluación no se refiere a las bases de datos, que son exhaustivas y exactas, sino a la interpretación que se puede hacer de los indicadores.

Una primera fuente posible de errores puede provenir de las diferentes estrategias de las empresas en materia de patentes, cuyo resultado es la existencia de varias patentes para una capacidad idéntica. No obstante, las cifras actuales se derivan de cómputos de todas las patentes y empresas, lo que tiende a compensar estos márgenes de error mínimos. Otra segunda fuente posible de error está relacionada con el hecho de que las firmas de un territorio o país determinado tienen tendencia a depositar más patentes en éstos, por estar estrechamente vinculadas al mercado interior. Para superar este problema, los indicadores se computan teniendo en cuenta las patentes sacadas en los dos mercados abiertos principales, los EE.UU. y Europa. No obstante, siempre existirá una tendencia a una representación insuficiente de los países que no tienen como objetivo exportar a los EE.UU. o a Europa.

CUADRO 1
PRODUCTO INTERNO BRUTO (PIB), GASTO INTERNO BRUTO EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO (GIBID)
Y RELACIÓN GIBID/PIB EN DIFERENTES REGIONES (1992)

	GIBID ^{1, 2}	PIB ¹	GIBID/PIB
Unión Europea (UE) ^{3, 6}	117,67	6 709	1,9
Asociación Europea de Libre Cambio (AELC) ^{3, 7}	5,47	203	2,3
Europa Central y Oriental ^{4, 8}	2,89	233	1,5
Israel ⁴	1,24	64	1,9
Comunidad de Estados Independientes (CEI) ^{4, 9}	4,13	496	0,9
Estados Unidos de América ³	167,01	5 953	2,8
Canadá ³	8,13	537	1,5
América Latina ⁵	3,93	1 063	0,4
África del Norte ⁵	0,72	160	0,4
Oriente Medio y Cercano Oriente ^{5, 10}	3,11	598	0,5
África Subsahariana ⁵	1,09	245	0,4
Japón ³	68,31	2 437	2,8
Nuevos Países Industrializados (NPI) ^{4, 11}	10,73	824	1,3
China ⁴	22,24	3 155	0,7
India ⁴	7,10	940	0,8
Otros países del Lejano Oriente ⁵	0,69	982	0,1
Australia y Nueva Zelandia ³	4,12	341	1,2
Total mundial	428,58	24 295	1,8

¹ La unidad monetaria son miles de millones de dólares corrientes de los Estados Unidos, calculados en «paridad de poder adquisitivo» (ppa), salvo para los países y regiones señalados con la llamada 5.

² El Gasto Interno Bruto en I+D (GIBID) es el gasto de ejecución de las actividades de I+D efectuadas en el territorio nacional, para todas las fuentes de financiación, comprendidas las extranjeras.

³ Datos de la OCDE.

⁴ Datos del *European Report on S&T Indicators*, Luxemburgo, Office for official publications.

⁵ Valores en miles de millones de dólares de los Estados Unidos, calculados a partir del tipo de cambio de las monedas nacionales. Datos de la UNESCO y estimaciones del Observatorio de Ciencias y Técnicas (OST).

⁶ Unión Europea: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Países Bajos, Portugal, Reino Unido y Suecia.

⁷ Asociación Europea de Libre cambio: Islandia, Liechtenstein, Noruega y Suiza.

⁸ En los países de Europa Central y Oriental están incluidos los Estados bálticos (Estonia, Letonia y Lituania), pero no ex Yugoslavia.

⁹ La Comunidad de Estados Independientes comprende las repúblicas de la ex URSS, excepto los Estados bálticos.

¹⁰ Desde Turquía a Pakistán.

¹¹ Nuevos países (o economías) industrializados de Asia: República de Corea, Malasia, Hong Kong, Singapur y Taiwan.

Nota: En el caso de los países no pertenecientes a la OCDE, la correspondencia entre las monedas nacionales y el dólar de los Estados Unidos plantea múltiples dificultades. Las cifras presentadas sólo se pueden considerar como órdenes de magnitud. En el caso de China y la India, las estimaciones recientes del GIBID, efectuadas por la Universidad de Cambridge y publicadas en el *European Report on S&T Indicators*, proporcionan cifras mucho más elevadas que las facilitadas anteriormente, debido al valor del tipo de cambio de la «paridad de poder adquisitivo»; ocurre lo contrario con los países de la CEI.

Fuentes: OCDE, para los países miembros de esta organización; *European Report on S&T Indicators*, para los países cuyos PIB y GIBID se presentan con el tipo de «paridad de poder adquisitivo»; UNESCO, para los países cuyos PIB y GIBID se presentan con el tipo de cambio de las monedas nacionales. Los ajustes y cálculos para los datos incompletos son del OST.

Por consiguiente, es importante recordar que cada indicador representa solamente una faceta de la realidad y de manera parcial: los indicadores de recursos no dicen nada de los resultados; los indicadores de publicaciones no dicen nada sobre la actividad de formación o de competencia técnica; y los indicadores de patentes tampoco dicen nada sobre las esferas tecnológicas en que no se conceden patentes, ni sobre la utilización de éstas para la innovación. Está claro, pues, que los indicadores sólo tienen un sentido cuando se examinan conjuntamente, porque es evidente que no puede haber una sola unidad de medida para un sistema tan complejo.

A pesar de todas sus limitaciones, se puede considerar que los indicadores actuales proporcionan escalas de magnitudes correctas para los parámetros que miden y que, si se consideran en su conjunto, ofrecen una representación de la realidad bastante fiable.

RECURSOS FINANCIEROS Y HUMANOS

El examen de las actividades relacionadas con el Gasto Interno Bruto en I+D (GIBID) en las diferentes partes del mundo (Cuadro 1) resalta la función predominante desempeñada por el conjunto de los países de la OCDE, que totalizan el 85 % del total del gasto mundial en ciencia y tecnología. Es importante destacar que China, India y los Nuevos Países Industrializados (NPI) representan el 10 % de la I+D mundial. Si se les añade Japón, Australia, Nueva Zelandia y otros países del Lejano Oriente, esta cifra supera el 26 %.

Cuando comparamos las actividades relativas al GIBID con el Producto Interno Bruto (PIB) —del cual los países de la OCDE totalizan solamente el 62 %— se puede advertir una característica de éstas: están más concentradas que las actividades económicas en general. Más concretamente, es en EE.UU. y Japón donde existe una relación más elevada —2,8 %— entre las magnitudes del GIBID y del PIB, mientras que en Europa (el conjunto de países de la Unión Europea y de la AELE) e Israel esta relación alcanza un 2 % aproximadamente. Por su parte, Canadá, Australia, Nueva Zelandia, los países de Europa Central y Oriental y los NPI

CUADRO 2
CIENTÍFICOS E INGENIEROS DE I+D Y SU PROPORCIÓN
CON LA POBLACIÓN EN DIFERENTES REGIONES (1992)

	Científicos e ingenieros de I+D (millares)	Población (millones)	Científicos por millar de habitantes
Unión Europea (UE)	740,9	369,0	2,0
Asociación Europea de Libre Cambio (AELC)	32,6	11,9	2,7
Europa Central y Oriental	285,5	131,0	2,2
Israel	20,1	5,4	3,8
Comunidad de Estados Independientes (CEI)	452,8	283,0	1,6
Estados Unidos de América	949,3	257,5	3,7
Canadá	64,6	27,8	2,3
América Latina	158,5	464,6	0,3
África del Norte	81,6	219,7	0,4
Oriente Medio y Cercano Oriente	117,4	465,9	0,3
África Subsahariana	176,8	482,6	0,4
Japón	511,4	124,8	4,1
Nuevos Países Industrializados (NPI)	136,7	92,5	1,5
China	391,1	1 205,0	0,3
India	106,0	887,7	0,1
Otros países del Lejano Oriente	60,3	513,5	0,1
Australia y Nueva Zelandia	48,5	21,2	2,3
Total mundial	4 434,1	5 563,1	0,8

Para definiciones, fuentes y notas, véase el Cuadro 1.

Nota: Las cifras correspondientes a China y la India están muy subestimadas y no concuerdan con los valores del GIBID del Cuadro 1.

Fuente: Estimaciones OST, sobre la base de datos de la OCDE; el *European Report on S&T Indicators* y la UNESCO (OST, 1995).

se encuentran en una posición intermedia, con relaciones que oscilan entre 1,2 % y 1,5 %.

En India, China y los países de la Comunidad de Estados Independientes (CEI), la relación GIBID/PIB se acerca al 1%, mientras que en las restantes regiones del mundo la relación se halla por debajo del 0,5 %, aunque haya algunos países que constituyen notables excepciones, como África del Sur, Brasil y Argentina, cuyas relaciones GIBID/PIB se sitúan por encima del promedio de sus regiones respectivas.

CUADRO 3
PRODUCCIÓN CIENTÍFICA,
MEDIDA POR LAS PUBLICACIONES (1993)

	Porcentaje mundial 1993	Porcentaje 1991 (base 1982 = 100)
Unión Europea (UE)	31,5	107
Asociación Europea de Libre Cambio (AELC)	1,7	100
Europa Central y Oriental	2,3	87
Israel	1,0	90
Comunidad de Estados Independientes (CEI)	4,8	56
Estados Unidos de América	35,3	96
Canadá	4,5	108
América Latina	1,5	127
África del Norte	0,4	111
Oriente Medio y Cercano Oriente	0,6	186
África Subsahariana	0,8	89
Japón	8,1	119
Nuevos Países Industrializados (NPI)	1,4	412
China	1,2	347
India	2,1	83
Otros países del Lejano Oriente	0,1	113
Australia y Nueva Zelanda	2,7	94
Total mundial	100,0	

Para definiciones, fuentes y notas, véase el Cuadro 1.

Nota: La producción científica se mide aquí por el número de publicaciones científicas (es decir, de artículos) editadas en las revistas catalogadas en el *Science Citation Index* (SCI) y en *Compumath*, que son las bases de datos creadas por el «Institute for Scientific Formation» (ISI) de Filadelfia (EE.UU.). Las ciencias sociales y humanas no se toman en cuenta, porque su modelo de publicación no está internacionalizado y, por consiguiente, no permite establecer comparaciones significativas entre países.

Fuente: OST, sobre la base de datos del ISI (SCI y *Compumath*) (OST, 1995).

Un examen de la distribución del personal dedicado a la I+D en el mundo (Cuadro 2) nos muestra una situación diferente, en la que los países de la OCDE cuentan solamente con la mitad de científicos e ingenieros del mundo entero, mientras que los países de Asia, desde la India al Japón, poseen casi un tercio del total mundial del personal científico y técnico. África cuenta con el 6 %, América Latina con el 4 % y los países del Cercano Oriente y Oriente Medio con el 3 %.

Si se examinan las cifras con respecto a la población total, se puede apreciar una clara diferencia entre los países desarrollados (donde la relación entre estas magnitudes es igual o superior al 2,0 por 1.000) y los países en desarrollo (la relación oscila entre 0,1 y 0,4 por 1.000). Los países de la CEI y los NPI se encuentran en una posición intermedia, con 1,6 y 1,5 por 1.000, respectivamente.

PRODUCCIÓN CIENTÍFICA

Las cifras relativas a la producción científica en las diferentes regiones del mundo, obtenidas mediante los indicadores de publicaciones (Cuadro 3), muestran el predominio de América del Norte, que se acerca a la mitad del total mundial, y de Europa (Unión Europea, AELC y países de Europa Central y Oriental), que tiene más de un tercio de dicho total. Los países de la OCDE totalizan casi el 85 %, lo que representa una proporción equivalente a la de su GIBID. Los países de Asia, desde la India al Japón, más Australia y Nueva Zelanda, reúnen solamente el 15,6 % del total mundial, proporción que está significativamente por debajo de su porcentaje en gastos para investigación.

Un análisis de los totales de publicaciones científicas de las diferentes regiones del mundo en los diez últimos años, muestra un contraste muy marcado entre la espectacular disminución registrada en los países de la CEI –la reducción es de casi la mitad– y el sensacional aumento del porcentaje de los NPI y China –las publicaciones se han multiplicado por 4,1 y 3,5, respectivamente.

América Latina, África del Norte, Oriente Medio, Cercano Oriente y algunos países del Lejano Oriente son regiones en desarrollo, que han aumentado su parte de producción científica. En el grupo de países industrializados son los miembros de la Unión Europea, Canadá y, sobre todo, Japón los que han registrado un aumento de sus correspondientes porcentajes.

Los países de la CEI dan muestras de mucha atonía en ciencias biológicas y de un vigor en física, química, y ciencias de la Tierra y del espacio.

En los continentes menos desarrollados aparece una tendencia a la especialización en ciencias de la Tierra y del

CUADRO 4
PRODUCCIÓN CIENTÍFICA POR DISCIPLINA, MEDIDA POR LAS PUBLICACIONES (1993)

Disciplinas científicas	Europa ¹	Comunidad de Estados Independientes	América del Norte	América Latina	Países musulmanes ²	África subsahariana	Países industrializados de Asia ³	Otros países del Lejano Oriente ⁴	Australia y Nueva Zelandia
Medicina clínica	41,0	1,4	41,4	1,3	0,9	1,2	8,1	1,6	3,2
Investigación biomédica	36,8	2,9	44,9	1,3	0,4	0,5	9,5	1,4	2,3
Biología	31,5	2,2	43,6	2,5	1,2	2,1	7,6	3,3	6,0
Química	36,9	9,9	27,9	1,3	1,7	0,5	14,0	6,1	1,7
Física ^{34,4}	10,7	32,8	1,9	0,8	0,3	11,7	6,1	1,3	
Ciencias de la tierra y del espacio	32,7	5,7	45,5	2,1	1,1	1,2	4,1	3,5	4,1
Ciencias de la ingeniería	29,6	4,3	44,0	0,9	1,6	0,4	12,6	4,8	1,8
Matemáticas	38,0	4,8	39,7	1,6	1,2	0,6	6,3	5,6	2,3
Total 36,5	4,8	39,8	1,5	1,0	0,8	9,5	3,4	2,7	

Nota: En este cuadro hemos agrupado algunas regiones, a fin de presentar las cifras por «continentes».

¹ Comprende la Unión Europea, AELC y países de Europa Central y Oriental.

² Están comprendidos África del Norte y los países del Cercano Oriente y Oriente Medio.

³ Japón y los nuevos países industrializados.

⁴ India, China y otros.

Fuente: OST, sobre la base de datos del ISI (SCI y *Compumath*) (OST, 1995).

espacio y biología, mientras que la investigación biomédica adolece de una atonía relativa. Los países musulmanes y los del Lejano Oriente, a excepción del Japón y los NPI, muestran preferencias por la química, la ingeniería y las matemáticas, mientras que en América Latina se da mayor importancia a la física.

PRODUCCIÓN TECNOLÓGICA

Como muestran las cifras relativas a la concesión de patentes según el sistema europeo (Cuadro 5), las capacidades tecnológicas más importantes las comparten Europa (50 % del total mundial), los EE.UU. (27 %), y el Japón (21 %). Ningún otro país supera el 1 %. Con respecto a la evolución, cabe señalar que los países de la Unión Europea han perdido 9 puntos porcentuales en seis años (índice 91), mien-

tras que los EE.UU. han ganado un 3 % y el Japón un 29 %. Los NPI, por su lado, han multiplicado su parte por 2,4.

Si examinamos los datos relativos a la concesión de patentes según el sistema estadounidense, la situación difiere en algunos aspectos. En efecto, la parte de los EE.UU. se eleva al 48,7 %, mientras que las de la Unión Europea y el Japón representan un 18,6 % y un 25 %, respectivamente. Esto pone de manifiesto que el Japón es más fuerte en EE.UU. que en Europa. Además, el Japón refuerza cada vez más su posición (su parte ha aumentado un 11 % en seis años), mientras que la de los EE.UU. va aumentando ligeramente (un 5 % en el mismo periodo); por su lado, los países de la Unión Europea acusan también un fuerte descenso (un 24 % de disminución). Una característica significativa de la situación de la concesión de patentes en EE.UU. es la que se refiere a la parte de los NPI, que se ha

CUADRO 5
PRODUCCIÓN TECNOLÓGICA, MEDIDA POR LAS PATENTES CONCEDIDAS EN EUROPA Y EN LOS EE.UU. (1993)

	Patentes europeas		Patentes estadounidenses	
	Porcentaje mundial	1993 (base 1987=100)	Porcentaje mundial	1993 (base 1987=100)
Unión Europea (UE)	45,4	91	18,6	76
Asociación Europea de Libre Cambio (AELC)	3,2	86	1,5	73
Europa Central y Oriental	0,2	58	0,1	41
Israel	0,4	124	0,4	114
Comunidad de Estados Independientes (CEI)	0,2	174	0,1	54
Estados Unidos de América	27,3	103	48,7	105
Canadá	0,8	82	2,3	105
América Latina	0,1	120	0,2	102
África del Norte	0,0	-	0,0	-
Oriente Medio y Cercano Oriente	0,0	-	0,0	-
África Subsahariana	0,1	68	0,1	73
Japón	20,9	129	25,0	111
Nuevos Países Industrializados (NPI)	0,5	241	1,3	189
China	0,0	-	0,1	153
India	0,0	-	0,0	-
Otros países del Lejano Oriente	0,0	-	0,0	-
Australia y Nueva Zelandia	0,6	59	0,5	79
Total mundial	100,0	100	100,0	100

Las cifras individuales pueden no ajustarse a los totales debido a que se han redondeado.

Nota: Las patentes europeas son las concedidas de acuerdo con el «sistema europeo» de registro, que es un procedimiento en virtud del cual una patente pueden concederla simultáneamente varios países europeos; por su parte, las patentes estadounidenses se refieren a las que se sacan de acuerdo con el sistema de registro estadounidense.

Fuente: OST y CHI-Research, sobre la base de datos de las oficinas de patentes francesa (INPI), europea (EPO) y estadounidense (USPTO).

duplicado en este periodo de seis años y ha llegado a alcanzar casi el 1,3 %; esta parte representa el 55 %, el 5 % y el 7 % de las que corresponden, respectivamente, a Canadá, Japón y la Unión Europea.

Si se dividen las partes mundiales por el PIB de las regiones, es posible comparar su producción científica y tecnológica, evitando al mismo tiempo el efecto de volumen de sus economías respectivas (Cuadro 6).

Si tenemos en cuenta la producción científica, resulta que los países más orientados hacia la actividad científica son: Israel, los países de Europa Central y Oriental, los países de la CEI, Canadá, Australia y Nueva Zelandia (entre dos y cua-

tro veces el índice medio). Europa (es decir, la Unión Europea y la AELC) y los Estados Unidos se sitúan un 50 % por encima del promedio, mientras que la posición del Japón es modesta en este ámbito (un 19 % por debajo del promedio).

Por otra parte, cuando examinamos el contenido tecnológico de las economías, los resultados del Japón son asombrosos: dos veces el promedio en el sistema europeo de concesión de patentes y 2,5 veces en el estadounidense, lo cual arroja índices más altos que el de los europeos en Europa (índice 208 y sólo 181 para Europa) o que el de los norteamericanos en EE.UU. (índice 251 y sólo 200 para los Estados Unidos). También son notables los resultados de Israel

y los países de la AELC (principalmente Suiza y Noruega). Los EE.UU. se encuentran en posición relativamente fuerte con respecto al sistema estadounidense de patentes (índice 200), y al sistema europeo (índice 112), mientras que Europa está relativamente vigorosa en su propio mercado (índice 181) y débil en materia de exportaciones al extranjero (índice 73 en el sistema estadounidense de patentes).

Otra característica importante es el índice de los NPI, que es más de la mitad del nivel que tienen los países de la Unión Europea en el sistema estadounidense de patentes (índices 38 y 73, respectivamente).

COMPARACIÓN ENTRE EUROPA, EE.UU. Y JAPÓN

Los orígenes de la financiación de la I+D son asombrosamente diferentes en las tres regiones de la «tríada» (Cuadro 7). En Europa, el 38 % de la financiación procede de fondos públicos para usos civiles, mientras que éstos sólo representan un 17 % en EE.UU. En este país, el 24 % de la financiación proviene de fondos para usos militares, mientras que en Japón su porcentaje alcanza solamente el 1,4 %. En Japón, el 76 % de los fondos son suministrados por las empresas, mientras que éstas proporcionan tan sólo el 53 % en Europa.

La estructura de la realización de la I+D es más similar. En las instituciones públicas de investigación se realiza entre el 13 % y el 18 %; en las universidades entre el 13 % y el 19 %; y en la industria entre el 63 % y el 74 %.

Los países de la Unión Europea siguen demostrando una buena capacidad tecnológica en Europa y también los EE.UU., que se encuentran en una situación bastante parecida a este respecto, pero los primeros han perdido 4,5 puntos porcentuales en seis años, mientras que Japón ganaba 4,7 puntos en el mismo periodo (Cuadro 8).

La parte de los EE.UU. en las patentes del sistema estadounidense ganó 2,4 puntos porcentuales en seis años y llegó a un buen 48,7 %; por su parte, los países de la Unión Europea perdieron 5,8 puntos. Entre tanto el Japón ganó 2,5 puntos y llegó a alcanzar en la actua-

lidad un 25 %, lo cual representa el 50 % de la parte de los EE.UU.

En Europa, cada una de las tres regiones de la «tríada» posee casi la misma parte en el sector electrónico y eléctrico; la posición de los EE.UU. es muy cercana a la de los

CUADRO 6
ÍNDICES DE PRODUCCIÓN DE C&T EN RELACIÓN
CON EL PIB (1993)

	Índice publica- ciones/PIB	Índice patentes europeas/PIB	Índice patentes estadouni- denses/PIB
Unión Europea (UE)	126	181	73
Asociación Europea de Libre Cambio (AELC)	176	330	157
Europa Central y Oriental	295	32	16
Israel	376	140	146
Comunidad de Estados Independientes (CEI)	235	10	4
Estados Unidos de América	144	112	200
Canadá	202	37	103
América Latina	33	3	4
África del Norte	59	-	-
Oriente Medio y Cercano Oriente	25	-	-
África Subsahariana	83	13	11
Japón	81	208	251
Nuevos Países Industrializados (NPI)	42	15	38
China	9	-	-
India	54	-	-
Otros países del Lejano Oriente	3	-	-
Australia y Nueva Zelandia	191	44	38
Total mundial	100	100	100

Nota: Los porcentajes de publicaciones científicas internacionales y de las patentes europeas y estadounidenses se han dividido por el PIB de las regiones correspondientes; el valor mundial del índice (el valor medio) se ha expresado como una función de base 100 para facilitar la lectura.

Fuente: OST y *CHI-Research*, sobre la base de datos del ISI (*SCI* y *Compumath*), de INPI/EPO y USPTO (OST 1995).

CUADRO 7
ESTRUCTURAS COMPARADAS DE FINANCIACIÓN Y EJECUCIÓN DE LA I+D EN LA «TRÍADA» (EUROPA, EE.UU. Y JAPÓN) (1992)

	Unión Europea (%)	Estados Unidos de América (%)	Japón (%)	Total (%)
Financiación del GIBID				
Estado/civil	37,8	16,9	22,5	25,7
Estado/militar	9,4	24,0	1,4	11,6
Empresas	52,8	59,1	76,1	62,7
Total	100,0	100,0	100,0	100,0
Ejecución del GIBID				
Estado/civil	18,1	14,5	12,9	15,2
Estado/militar	18,9	12,9	13,6	15,1
Empresas	63,0	72,6	73,5	69,7
Total	100,0	100,0	100,0	100,0

Fuente: OST, sobre la base de datos de la OCDE (PPI) (OST, 1995).

CUADRO 8
LA PRODUCCIÓN TECNOLÓGICA Y SU EVOLUCIÓN EN LA «TRÍADA», MEDIDA POR LA CONCESIÓN DE PATENTES EUROPEAS Y ESTADOUNIDENSES (1987 - 1993)

	Porcentaje mundial de patentes europeas (%)		Porcentaje mundial de patentes estadounidenses (%)	
	1987	1993	1987	1993
Unión Europea	49,9	45,4	24,4	18,6
Estados Unidos de América	26,6	27,3	46,3	48,7
Japón	16,2	20,9	22,5	25,0

Fuente: OST y CHI-Research, sobre la base de datos de INPI/EPO y de USPTO.

europas y especialmente sólida en los campos de instrumental óptico, química y productos farmacéuticos. Excepto en los sectores químico y farmacéutico, los japoneses han avanzado a fondo en todos los terrenos, inclu-

sive en el de los bienes de consumo. Los EE.UU. permanecen estables (Cuadro 9).

En EE.UU., el Japón cuenta con más del 75 % de concesiones de patentes que los propios norteamericanos en el sector electrónico y eléctrico (35,4 % y 46,7 %, respectivamente), mientras que sus posiciones respectivas son correctas en instrumental y óptica. Los países de la Unión Europea tienen una posición particularmente débil en estos sectores, pero denotan mayor vigor en el sector químico y farmacéutico, así como en el de ingeniería mecánica y transporte. En ambos se sitúan por delante del Japón y, en el último, más del 50 % de los EE.UU. (23,6 % y 45,4 %, respectivamente).

En el curso de los seis últimos años, la parte de los EE.UU. en el total mundial ha aumentado excepto en electrónica y electricidad, donde ha perdido el 2 %. En estos mismos sectores, los países de la Unión Europea perdieron un 36 % de su parte, que era ya escasa; en los demás ámbitos su pérdida fue igual o superior al 10 %. El Japón fue ganando terreno acompasadamente en casi todos los sectores; en electrónica y electricidad el aumento fue del 17 % durante este período.

LA MOVILIDAD INTERNACIONAL DE LOS ESTUDIANTES

Más de 1.300.000 estudiantes se encuentran actualmente cursando la totalidad o parte de sus estudios en un país extranjero (Cuadro 10). La mayor parte de estos estudiantes proceden de la Unión Europea, la CEI, los países del Oriente Medio y Cercano Oriente, los NPI y China.

Israel cuenta con la «tasa de expatriación» más elevada y le siguen los países de Oriente Medio y Cercano Oriente, África, los NPI y China. El menor grado de movilidad

internacional corresponde a los estudiantes estadounidenses.

Los EE.UU. reciben 400.000 estudiantes extranjeros al año y Europa 500.000, con lo que alcanzan el 70% del total mundial; Japón recibe tan sólo el 3,3 % (Cuadro 11). En varios países europeos, como el Reino Unido, Francia, Bélgica y Austria, la proporción de estudiantes extranjeros supera el 6 %. En Suiza alcanza el 16,9 % y en otros países, como Australia, la proporción es relativamente elevada también.

CUADRO 9
POSICIÓN DE LOS PAÍSES DE LA «TRÍADA» EN LA CONCESIÓN DE PATENTES, POR SECTORES TECNOLÓGICOS (1993)

	Porcentaje mundial de patentes europeas					
	1993 (%)			1993/base 1987 = 100		
	Unión Europea	EE.UU.	Japón	Unión Europea	EE.UU.	Japón
EN EUROPA						
Electrónica, artículos eléctricos	34,2	30,0	31,8	83	101	129
Instrumental, óptica	37,8	32,4	23,4	84	106	136
Productos químicos, productos farmacéuticos	40,3	33,7	20,0	95	103	107
Procesos industriales	50,1	25,6	16,6	95	100	125
Ingeniería mecánica, transportes	58,5	19,2	15,5	96	100	134
Bienes de consumo	64,0	16,9	8,0	99	98	142
Total	45,4	27,3	20,9	91	103	129

Fuente: OST, sobre la base de datos de INPI/EPO (EPAT) (OST 1995).

	Porcentaje mundial de patentes americanas					
	1993 (%)			1993/base 1987 = 100		
	Unión Europea	EE.UU.	Japón	Unión Europea	EE.UU.	Japón
EN LOS EE.UU.						
Electrónica, artículos eléctricos	11,5	46,7	35,4	64	98	117
Instrumental, óptica	14,9	50,8	28,0	74	111	100
Productos químicos, Productos farmacéuticos	23,2	51,0	19,7	90	103	108
Procesos industriales	22,3	50,5	19,3	79	106	115
Ingeniería mecánica, transportes	23,6	45,4	22,5	80	110	102
Bienes de consumo	19,1	50,1	12,5	76	103	106
Total	18,6	48,7	25,0	76	105	111

Fuente: OST y CHI-Research, sobre la base de datos de USPTO. (OST, 1995).

CUADRO 10
MOVILIDAD INTERNACIONAL
DE LOS ESTUDIANTES (1992)

	Total de estudiantes (miles de personas)	Estudiantes expatriados (miles de personas)	Porcentajes de estudiantes en el extranjero
Unión Europea (UE)*	10 740	232	2,2
Asociación Europea de Libre Cambio (AELC)*	326	18	5,5
Europa Central y Oriental*	1 639	42	2,6
Israel	149	23	15,6
Comunidad de Estados Independientes (CEI)	5 283	122	2,3
Estados Unidos de América	14 556	25	0,2
Canadá	2 001	26	1,3
América Latina*	7 715	73	1,0
Africa del Norte*	1 834	90	4,9
Oriente Medio y Cercano Oriente*	3 407	153	4,5
Africa Subsahariana*	1 393	84	6,0
Japón	2 918	55	1,9
Nuevos Países Industrializados (NPI)*	2 581	132	5,1
China	2 302	129	5,6
India	4 936	43	0,9
Otros países del Lejano Oriente*	5 918	60	1,0
Australia y Nueva Zelandia*	711	15	2,1
Sin especificar	-	32	-
Total mundial	68 408	1 354	2,0

* Comprendida la movilidad en el interior de la región.

CUADRO 11
LOS DOCE PAÍSES QUE RECIBEN EL MAYOR NÚMERO
DE ESTUDIANTES EXTRANJEROS (1992)

	Número de estudiantes extranjeros en el país	Porcentaje del total de estudiantes extranjeros recibidos (%)	Porcentaje de extranjeros en el total de estudiantes del país (%)
Estados Unidos de América	439 000	32,4	3,0
Francia	138 000	10,2	7,0
Comunidad de Estados Independientes	134 000	9,9	2,5
Alemania	117 000	8,6	4,7
Reino Unido	88 000	6,5	6,3
Japón	45 000	3,3	1,5
Australia	39 000	2,9	7,0
Canadá	37 000	2,8	1,9
Bélgica	27 000	2,0	9,8
Suiza	25 000	1,9	16,8
Austria	22 000	1,6	9,7
Italia	21 000	1,5	1,3
Total de los doce primeros países	1 132 000	83,6	
Total mundial	1 354 000	100,0	2,0

Fuente: OST, sobre la base de datos de la UNESCO (OST, 1995).

Rémi Barré es un ingeniero y economista francés que ocupa el cargo de director del *Observatoire des Sciences et des Techniques* (OST) desde su fundación en 1990. Anteriormente dirigió una empresa de asesoría económica, trabajó para el Ministerio de Investigación y Tecnología de Francia y fue profesor en el Conservatorio Nacional de Artes y Oficios de este país.

Pierre Papon es profesor de física en la Escuela Superior de Física y Química Industriales de París y presidente del *Observatoire des Sciences et des Techniques* (OST). Anteriormente fue director general del Centro Nacional de la Investigación Científica (CNRS) de Francia y del Instituto Francés de Investigación para la Explotación del Mar (IFREMER).

América del Norte

RODNEY W. NICHOLS Y J. THOMAS RATCHFORD

En líneas generales, la actividad científica y tecnológica es próspera en el conjunto de América del Norte –Canadá, EE.UU. y México. No obstante, la comunidad científica tiene que arrostrar al mismo tiempo una implacable reducción de gastos, en la medida en que gobiernos, empresas y universidades han restringido los presupuestos. La comunidad tecnológica también tiene que afrontar plazos de tiempo más cortos para cumplir con objetivos económicos muy estrictos. Ambas comunidades están más interesadas en una transferencia más rápida de los conocimientos: las universidades y los laboratorios del gobierno en los resultados científicos, y los tecnólogos industriales en las investigaciones tecnológicas. En este capítulo se destacan las tendencias en cada país, la actividad en la región y algunas comparaciones generales. Las situaciones nacionales ponen de manifiesto la paradoja de un aumento simultáneo de perspectivas de rápidos adelantos en la investigación y de restricciones crecientes en la financiación de la labor científica y técnica.

Contexto

Durante el bienio 1992-1994, el promedio de gastos anuales conjuntos en investigación y desarrollo (I+D) ascendió a 180.000 millones de dólares en los tres países. Este esfuerzo redundó en beneficio de una población de unos 400 millones de personas, cuyo producto interno bruto combinado es de 7 billones de dólares. Las inversiones de América del Norte representaron casi un 45% del total mundial de los fondos consagrados a la I+D. Recientemente, tanto los gobiernos como las empresas han hecho cada vez más hincapié en los objetivos específicos de corto alcance. Cada nación tiene como objetivo que sus productos y servicios sean competitivos –en el plano tecnológico– en el mercado mundial y, al mismo tiempo, se muestra consciente de las crecientes necesidades de cooperación científica internacional.

Es un tanto arbitrario agrupar a estos tres países en una misma región, habida cuenta de las diferencias sustanciales de población, idioma, nivel de desarrollo económico y otros factores. No obstante, el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLC) ha dado a la región una nueva concien-

cia de la cohesión económica y ha creado condiciones más favorables para los intercambios comerciales. Los vínculos regionales en el ámbito científico y tecnológico siguen desarrollándose, aunque todavía son mesurados y van rezagados con respecto a la integración económica. Los vínculos en materia de I+D consisten en vastos acuerdos e inversiones de índole privada, intercambios diversos a través de sociedades profesionales e instituciones académicas, y consultas y programas organizados por los gobiernos.

Mutaciones y constantes en la política científica

En 1994, el Gobierno federal de los Estados Unidos llevó adelante algunas iniciativas presidenciales para acelerar la comercialización de tecnologías de futuro, creando nuevas asociaciones entre los poderes públicos y las empresas. Ejemplos de este nuevo impulso fueron los nuevos programas para crear un «vehículo limpio» y contribuir a la reconversión de las empresas de la defensa a objetivos civiles. No obstante, desde que el Partido Republicano obtuvo la mayoría en el Congreso a principios de 1995, se están reconsiderando estas iniciativas orientadas hacia la industria y se ha previsto reducir su financiación.

A mediados de la década de los noventa, el factor que ha tenido más repercusiones sobre la política científica gubernamental en los EE.UU. ha sido la acentuada austeridad presupuestaria, que ha sometido al conjunto de las inversiones públicas en I+D a un examen minucioso sumamente inquisitivo. El resultado ha sido que las instituciones académicas y los centros médicos del país están afrontando, por todas partes, retos que ponen en tela de juicio sus aspiraciones, modalidades de financiación y planes de organización tradicionales. En Canadá y México, la existencia de tensiones financieras equiparables imponen una austeridad aún más estricta a la investigación.

En los EE.UU. se han producido cambios espectaculares en la I+D industrial. Aunque el total de la I+D financiada por empresas aumentó un 140% en los últimos cuatro lustros, este tipo de financiación ha decaído en estos últimos años. La investigación científica básica financiada por las empresas ha cambiado con mayor énfasis al corto plazo, mientras que la I+D en las industrias de servicios ha

experimentado un incremento sustancial. Numerosas firmas han impuesto objetivos de I+D de más corto alcance, porque las mejoras de productos han de efectuarse con mayor rapidez. En Canadá y México, en el preciso momento en que la I+D industrial estaba cobrando impulso para contribuir a cumplir objetivos de comercialización mundial, el empeoramiento de las situaciones económicas nacionales ha inhibido las inversiones públicas y privadas.

A pesar de las tensiones económicas, en la región se manifiestan también muchas constantes en la política científica, comprendidos los esfuerzos desplegados para: (a) mejorar la enseñanza de ciencias y matemáticas en la educación elemental y secundaria, porque se considera esencial para la preparación de los futuros profesionales; (b) poner el acento en los centros de excelencia dedicados a la investigación, porque se estima importante protegerlos contra las restricciones generales de financiación; y (c) esbozar criterios de realización de la I+D, porque se prevé abarcar no sólo la calidad de la labor científica y técnica sino también sus resultados apropiados en el plano económico.

Posibilidades para la investigación

Los científicos, técnicos y médicos investigadores de América del Norte figuran entre los más destacados del mundo en múltiples ámbitos científicos. Debido a los límites de espacio del presente Informe, se darán solamente unos pocos ejemplos resumidos para indicar las posibilidades extraordinarias de la investigación contemporánea.

En ciencias biológicas, los sensacionales adelantos en la comprensión de los fenómenos moleculares en genética, inmunología, virología y neurología han seguido sustentando la elaboración de productos farmacéuticos y aparatos médicos muy perfeccionados. Las ciencias biológicas no sólo allanan el terreno a los adelantos de la medicina sino que consolidan las bases de la agricultura moderna. Aumenta la esperanza de que se resuelvan problemas médicos sobrecogedores, como el SIDA, la enfermedad de Alzheimer, la tuberculosis resistente a los fármacos y las enfermedades cardíacas.

Asimismo, los trabajos cada vez más profundos sobre el medio ambiente –posiblemente uno de los temas de in-

vestigación de índole más interdisciplinaria, por el desafío que representa el hecho de integrar ciencias biológicas, físicas y humanas– están esclareciendo la influencia del cambio de clima en el planeta. La nueva ciencia y tecnología del medio ambiente contribuye a definir opciones económicas equilibradas para la protección de éste. Además, la mayoría de las previsiones pronostican un gran auge del mercado mundial en el sector de tecnologías del medio ambiente, incorporadas a productos y servicios nuevos.

La ciencia e ingeniería de materiales –también impulsada por actividades interdisciplinarias– agrupa a físicos, químicos, especialistas en cerámicas y metalurgia, y otros investigadores, que poseen instrumentos de análisis cada vez más potentes. Sus trabajos comprenden estudios sobre la composición de la materia y muestran la manera de explorar el conocimiento más profundo de ésta para proyectar nuevos materiales y perfeccionar las técnicas de fabricación.

Los brillantes adelantos en informática y telecomunicaciones se extienden a los programas y equipos para computadoras. Su rendimiento no sólo se duplica cada bienio sino que los precios bajan. La informática de alto rendimiento y las redes de información impulsan la eficacia de todas las empresas e instituciones y permiten una comunicación más eficiente e intensa entre investigadores y colaboradores. Además, las técnicas modernas de tratamiento de datos han consolidado la profundización, ampliación y productividad de la mayoría de las ramas de la investigación, por ejemplo las relativas al cerebro, los océanos, el genoma humano y los orígenes del universo.

En esta última década del siglo XX nos viene a diario a la memoria el clarividente juicio de Pasteur: «Ciencia pura y aplicada forman un todo, y están unidas entre sí como el fruto al árbol». A menudo se califica al presente siglo como una «edad de oro» de la ciencia; y, sin embargo, sus beneficios y consecuencias son imprevisibles con frecuencia. En toda América del Norte cunde el descontento entre administradores de la investigación y científicos, al intentar resolver los conflictos planteados por la elaboración de programas que sean compatibles, a la vez, con las amplias posibilidades de investigación a largo plazo y con los objetivos más limitados impuestos por objetivos socioeconómicos inaplazables.

Muchos observadores señalan la existencia de un creciente riesgo de inversión insuficiente en el acervo mundial de la ciencia básica, que todos los países utilizan para generar posteriormente competencias e innovación.

Alcance del estudio

En este estudio se concede una atención especial a la reciente experiencia de los EE.UU. en tres ámbitos: I+D industrial, colaboración entre universidades y empresas, e I+D militar. Esta experiencia debería estudiarse en todas las regiones, a fin de sacar enseñanzas de las lecciones aprendidas tanto en la creación de asociaciones entre los sectores público y privado como en la transformación de los objetivos tradicionales de empresas, universidades y laboratorios nacionales, en misiones definidas en función del mercado.

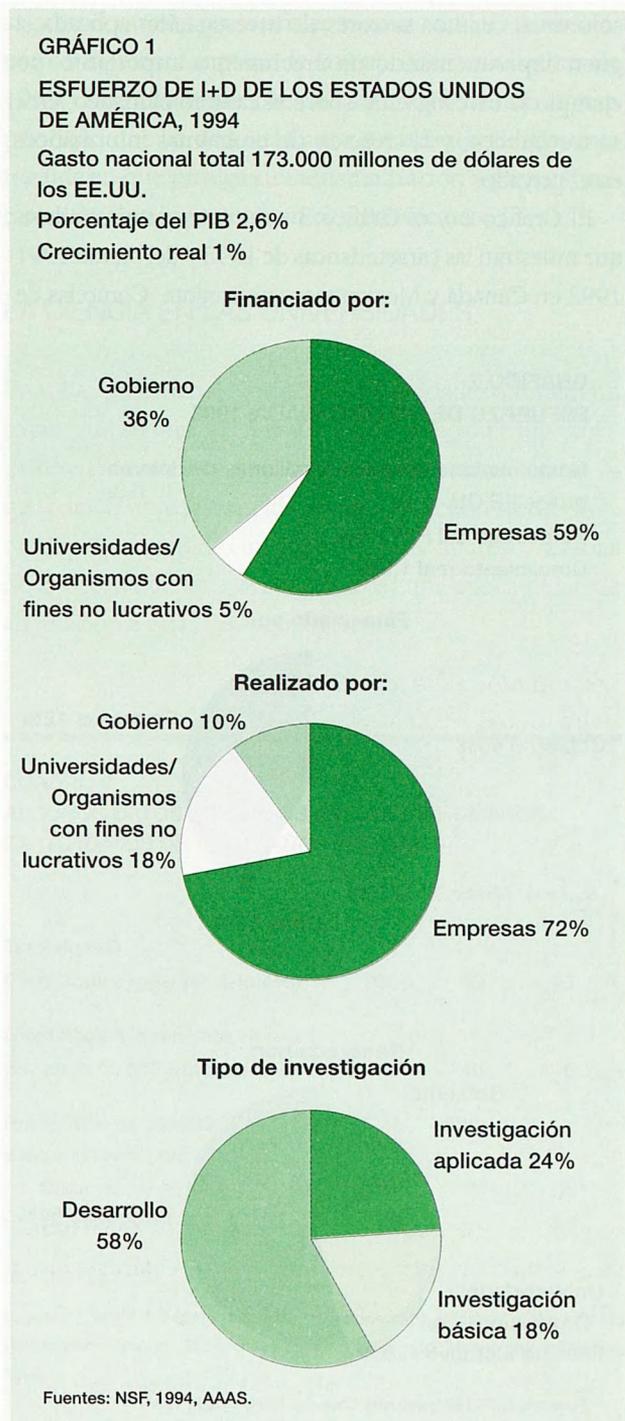
Este estudio examina el gasto en I+D en todos los sectores públicos y privados. Una definición amplia de la ciencia y tecnología en la sociedad habría implicado tomar en consideración los miles de puestos de trabajo que exigen un nivel mínimo de conocimientos científicos y matemáticos y el empleo de instrumentos tecnológicos perfeccionados, pero no es éste nuestro propósito aquí. En vez de esto, el estudio se centra en las actividades profesionales y de apoyo asociadas normalmente a los programas e infraestructuras tipificados por la OCDE, la UNESCO y las fuentes nacionales, para definir la I+D. Como la mayor parte de los gobiernos conceden actualmente mayor importancia al examen de datos comparativos internacionales y, en especial, al seguimiento de las inversiones del sector privado en I+D, será menester hacer análisis más amplios para comprender mejor los indicadores de América del Norte y los mundiales.

INVERSIÓN EN C&T

En este capítulo se examina con brevedad el gasto global en I+D y los protagonistas principales que actúan en este ámbito. Algunos indicadores comparativos muestran las tendencias correspondientes en materia de recursos humanos, junto con puntos de referencia económicos, en el plano regional y mundial.

Gastos globales en I+D

En el Gráfico 1 se presenta la inversión en I+D en los EE.UU. en 1994, comprendida la ciencia básica. A princi-

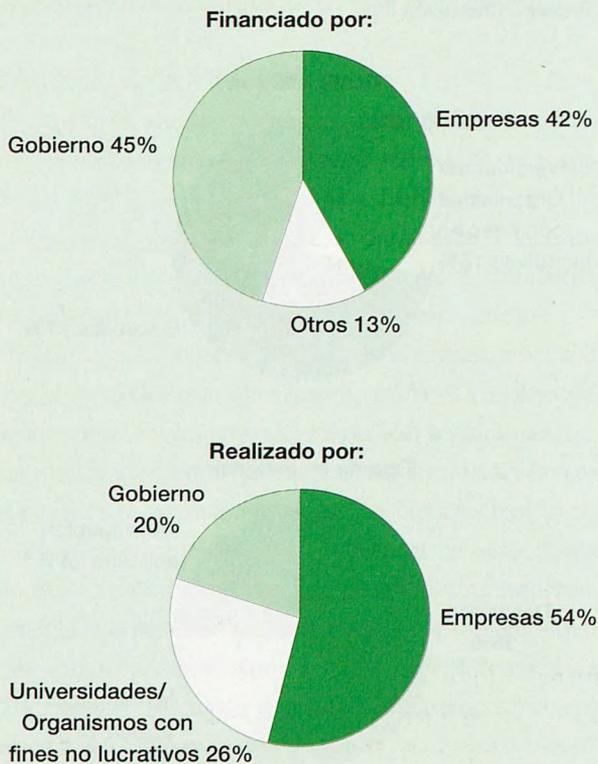


pios de los años noventa, hubo un periodo de adaptación paulatina a presupuestos de I+D cada vez más reducidos en el sector público y el privado. En múltiples ámbitos científicos y técnicos la financiación se ha estancado. Tan sólo unos cuantos sectores de investigación aplicada siguen experimentando un crecimiento importante, por ejemplo la investigación sobre el cambio climático, en el sector público, y la creación de programas informáticos, en el privado.

El Gráfico 2 y el Gráfico 3 contienen datos similares, que muestran las características de 1993 y del bienio 1991-1992 en Canadá y México respectivamente. Como las de-

GRÁFICO 2
ESFUERZO DE I+D DE CANADÁ, 1993

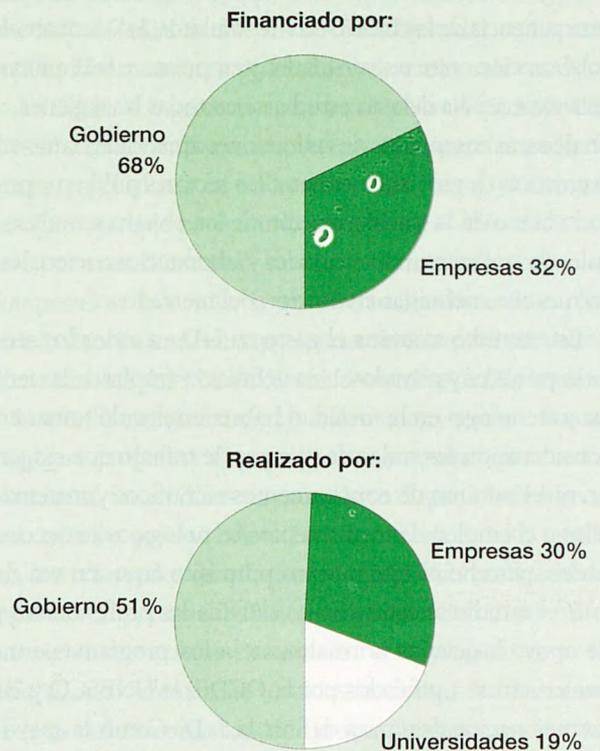
Gasto nacional total 8.500 millones de dólares de los EE.UU.
Porcentaje del PIB 1,5%
Crecimiento real 1,9%



Fuentes: NSF, 1994; Industry Canada, 1994; OCDE, 1994.

GRÁFICO 3
ESFUERZO DE I+D DE MÉXICO, 1991-1992

Gasto nacional total 1.500 millones de dólares de los EE.UU.
Porcentaje del PIB 0,3%
Crecimiento real 2% (estimación)



Fuentes: CONACYT, 1994; OCDE, 1994; NSF, 1994.

finiciones varían de un país a otro y los mejores datos disponibles corresponden a años diferentes, no se pueden efectuar comparaciones precisas en el plano regional. Las dificultades económicas excepcionales de México en 1995 y los presupuestos sumamente austeros de Canadá han sido los factores generales más importantes que han afectado a la I+D de ambos países en el curso de los últimos años.

Indicadores comparativos

El Cuadro 1 agrupa diferentes datos proporcionados por el Banco Mundial, el PNUD y la OCDE, y permite anali-

zar la intensidad de la I+D en los tres países, teniendo en cuenta sus contextos nacionales y las tendencias existentes en el plano mundial. La región de América del Norte confirma una característica observada en otras partes, a saber: hay una correlación entre el nivel de industrialización y el nivel de I+D del sector privado; si la función de éste es destacada, la importancia de los laboratorios públicos es menor. No obstante, esta correlación no aclara, desde luego, cuál es la mejor manera de sostener los elementos concretos esenciales de las prioridades en materia de ciencia y tecnología y coordinarlos con la política económica nacional.

Recursos humanos

La base de un programa pujante de I+D reside en las competencias existentes en los ámbitos educativo, científico, técnico y médico. En el Cuadro 2 se muestran algunos índices de la base de recursos humanos para la I+D en los

tres países de América del Norte. Aunque las definiciones discrepan también y los periodos de tiempo no corresponden tampoco exactamente, como hemos visto que ocurría con otros datos estadísticos, está claro que México va a la zaga en el camino hacia una economía con I+D intensiva; por consiguiente, a pesar de las tensiones económicas de 1995, es probable que este país siga manteniendo la gran prioridad que ha dado a la ciencia y a la tecnología en la medida en que prosiga su industrialización y prepare una mano de obra capacitada en el plano técnico.

LA CIENCIA EN LAS UNIVERSIDADES

En toda América del Norte, las universidades afrontan un triple reto: su misión en materia de educación e investigación se delimita en función de objetivos concretos; su financiación se ve restringida por una estricta austeridad; su rendimiento se mide con controles muy rigurosos. El final de la década de los noventa va a ser una época difícil de adaptación a estas nuevas exigencias.

CUADRO 1
ALGUNOS INDICADORES COMPARATIVOS

	EE.UU. 1994	Canadá 1993	México 1991-92
Gastos totales en I+D (miles de millones de dólares de los Estados Unidos)	173	8,5	1,5
Total de I+D como porcentaje del PIB	2,6	1,5	0,3
Porcentaje total de I+D			
realizado por las empresas	72	54	30
financiado por las empresas	59	42	32
realizado por el Gobierno	10	20	51
realizado por universidades y organismos no lucrativos	18	26	19
Población (1992) (millones)	255	27	88
PIB por habitante (1991) (miles de dólares de los Estados Unidos)	22,1	19,3	7,2
(Agregado mundial - 5,5)			

Fuentes: PNUD, 1994; NSF, 1994; Banco Mundial, 1994.

CUADRO 2
**ALGUNOS DATOS SOBRE LOS RECURSOS HUMANOS
EN I+D (DATOS DE 1990 O AÑOS PRÓXIMOS)**

	EE.UU.	Canadá	México
Total de I+D			
Científicos e ingenieros (miles)	950	63	10
Científicos e ingenieros en I+D por cada 10.000 trabajadores)	76	46	5
Porcentaje de científicos e ingenieros en la industria			
Ciencia	21	39	nd
Ingeniería	79	61	nd

nd = no disponible.

Fuentes: NSF-NSB-93-1; Human Development Report, 1994; World Development Report, 1994; OCDE Main Science and Technology Indicators, 1994.

Muchos observadores prevén un periodo en el que pueden surgir formas de organización completamente nuevas. Los centros de investigación universitarios no sólo se van a ver obligados a restringir la amplitud y nivel de sus actividades, sino que también van a tener que modificar sustancialmente los términos y objetivos de sus acuerdos con las empresas y organismos gubernamentales que los patrocinan. Al mismo tiempo, los centros de educación superior y las universidades deberán consagrarse con renovada energía a dar una formación aún más amplia a los estudiantes. En el contexto de la creciente competencia por la obtención de puestos de trabajo, la evolución tecnológica impone a todos una adaptabilidad y movilidad mayores, tanto en las profesiones científicas y técnicas como en las de los restantes sectores económicos.

En el Cuadro 3 se muestran los datos más recientes sobre los gastos en I+D efectuados en las universidades. Como se señala más adelante, el año pasado se caracterizó por una tendencia creciente a la reducción de estos gastos.

CUADRO 3
GASTOS EN I+D EN LAS UNIVERSIDADES, 1992
 (en miles de millones de dólares de los Estados Unidos)

	Gastos	% de I+D nacional	% del PIB
México (1991)	0,3	19	0,06
Canadá (1992)	2,2	23	0,40
Estados Unidos (1992)	24,0	14	0,40

Fuentes: UNDP, 1994; NSF, 1994; Banco Mundial, 1994.

Canadá

Los presupuestos de investigación en las universidades del Canadá fueron reducidos considerablemente en 1995 y seguirán reduciéndose en los dos o tres años próximos. Se prevé que, durante el periodo 1995-1998, los recursos de la investigación científica en las universidades disminuirán un 15 % en dólares corrientes, lo cual representará una merma aún mayor de su poder adquisitivo. A mediados

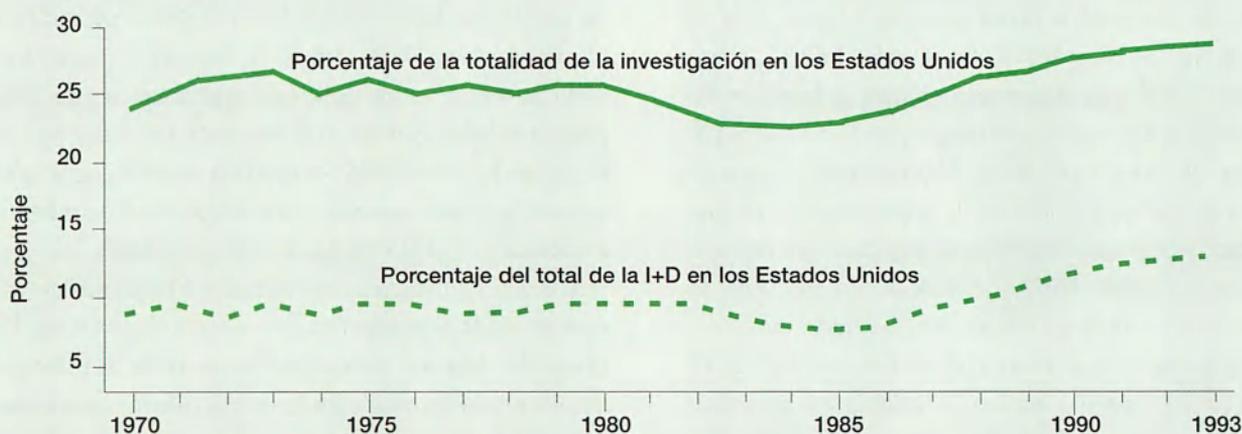
de 1995, las previsiones a este respecto eran todavía demasiado inciertas y, por consiguiente, resulta imposible apreciar sus repercusiones con detalle. No obstante, se va a seguir concediendo a las universidades una prioridad relativamente importante en el sector científico del país, teniendo en cuenta que la disminución prevista de la ayuda global del Gobierno canadiense a la I+D va a disminuir entre un 35 % y un 40 % en los próximos años.

El Gobierno canadiense sigue concediendo gran importancia al esfuerzo de orientar la investigación hacia una comercialización más rápida de los resultados, aunque al mismo tiempo los programas tecnológicos centrados en la industria tienen que afrontar las mayores restricciones presupuestarias. A las universidades se las considera como protagonistas esenciales de este esfuerzo. De todos modos, se limitarán los presupuestos de los proyectos relativos a ciencias del espacio, ciencias humanas e investigación médica, y se replantearán las prioridades. Desafortunadamente, como a mediados de 1995 el conjunto de las universidades todavía no había reaccionado ante los recientes cambios presupuestarios, las series cronológicas que muestran la financiación en los diferentes ámbitos no son pertinentes para interpretar las tendencias actuales, ni tampoco las previsibles para el futuro. Se puede producir un debilitamiento de los esfuerzos dedicados a los programas de largo alcance en investigación básica, como ya ha ocurrido en otros países que se han enfrentado a restricciones financieras similares y a exigencias análogas de pertinencia económica a corto plazo de la I+D. Si esta tendencia se consolida, podría llegar a ser un elemento disuasorio para cursar estudios doctorales en materias científicas y técnicas; también podría limitar la amplitud y el alcance de la participación canadiense en la cooperación científica internacional.

México

La brusca devaluación del peso produjo una reducción de las inversiones en todos los sectores, a principios de 1995. La educación en general y la investigación en las universidades, más concretamente, se han visto desfavorablemente afectadas en muchos aspectos. Pero es difícil prever has-

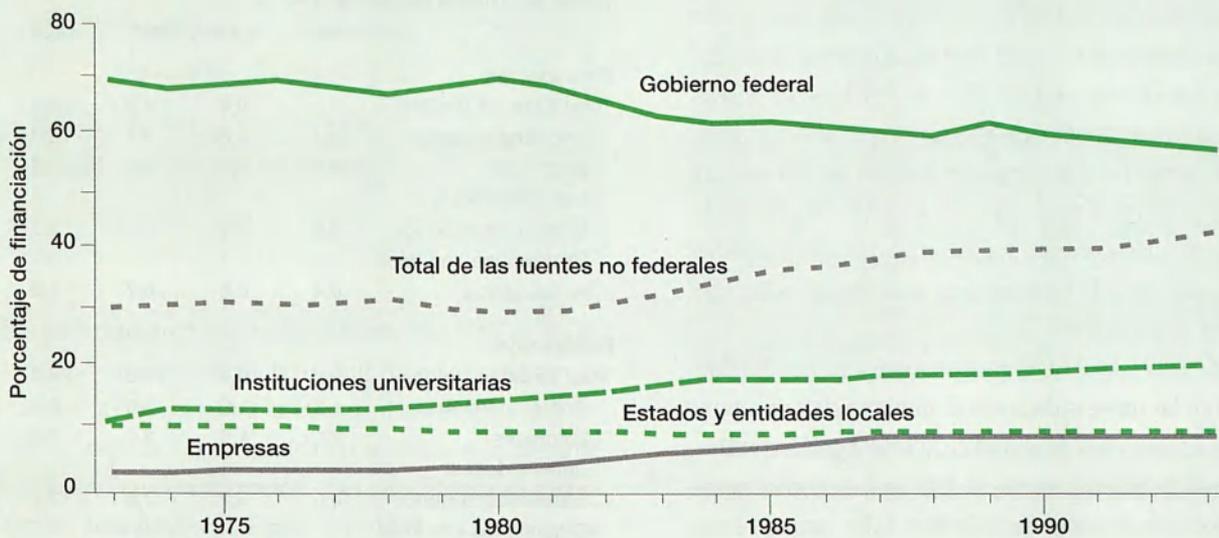
GRÁFICO 4
PORCENTAJES DE I+D E INVESTIGACIÓN REALIZADAS
EN LAS UNIVERSIDADES DE LOS ESTADOS UNIDOS



Nota: La investigación efectuada en las universidades comprende la investigación básica y la aplicada.
 Los datos correspondientes a 1992 y 1993 son estimaciones.

Fuente: National Science Board (NSB), 1993.

GRÁFICO 5
FUENTES DE FINANCIACIÓN DE LA I+D REALIZADA EN LAS UNIVERSIDADES
DE LOS ESTADOS UNIDOS (POR SECTORES)



Nota: Los datos correspondientes a 1992 y 1993 son estimaciones.

Fuente: NSB, 1993.

ta qué punto las restricciones financieras podrán retrasar seriamente el extraordinario renacimiento experimentado por la ciencia mexicana a principios de los años noventa. En el mes de marzo de 1995 se anunció la creación de la Fundación Nacional de Investigación de México, muy similar al National Research Council de los EE.UU., y este hecho ilustra el creciente reconocimiento de la importancia concedida a la organización de grupos de científicos para tratar los temas importantes del país. Esto debería conducir a insistir en la prioridad de la potenciación de una base científica y universitaria al servicio de objetivos económicos y sociales. No obstante, teniendo en cuenta la austeridad presupuestaria que ha imperado en 1995, es muy probable que hasta el final del presente decenio sean sumamente escasos los recursos gubernamentales y empresariales dedicados a la investigación universitaria.

Estados Unidos de América

En los últimos decenios, las universidades estadounidenses han pasado a depender cada vez más de la ayuda externa para sus actividades de investigación básica. Un gran motivo de inquietud es que las diferentes misiones llevadas a cabo por cuenta de entidades externas puedan mermar la capacidad de las universidades para cumplir con sus funciones esenciales, es decir, investigar e impartir educación a los estudiantes en todos los niveles. La situación es grave, porque las universidades tienen que afrontar nuevas restricciones presupuestarias e intentar acabar con las dudas de la opinión pública acerca de la utilidad de la ciencia básica. El «contrato social» entre las universidades y el país, que data de la posguerra, está siendo objeto de una nueva negociación.

Un indicador clave de la prosperidad y vulnerabilidad de la I+D en las universidades es el aumento de su proporción, con respecto a la totalidad de la investigación y al total de la I+D efectuadas en los EE.UU. en los últimos veinte años, como se muestra en el Gráfico 4. En cambio, en el Gráfico 5 puede apreciarse que el apoyo del Gobierno federal a la I+D efectuada en las universidades ha disminuido paulatinamente en ese mismo periodo. En efecto, en

1973 dicho apoyo representaba casi el 70 % del total de la financiación de I+D realizada en las universidades, y en 1993 ya había descendido a un porcentaje inferior al 60%. Al mismo tiempo, el porcentaje de recursos procedentes de fuentes ajenas al Gobierno federal subió diez puntos porcentuales —de un 30 % a un 40 %— y las instituciones académicas multiplicaron por dos la contribución a sus propias actividades. Aunque la financiación procedente de las empresas ha aumentado por diversos motivos, sigue siendo una parte relativamente reducida del total de la financiación de la I+D efectuada en las universidades.

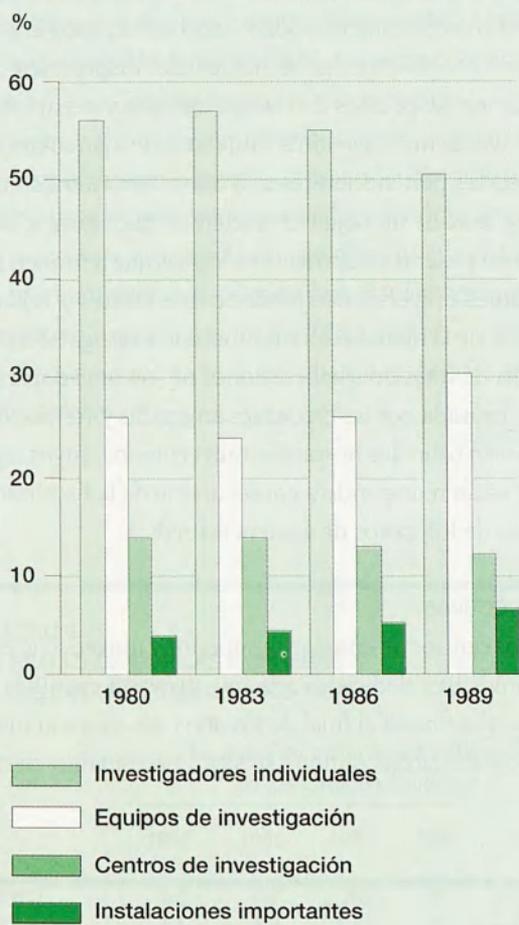
Los datos que figuran en el Cuadro 4 muestran las tendencias en la investigación básica, que durante mucho tiempo ha sido una misión predominante de las principales universidades estadounidenses. En los treinta últimos años (1965-1994), las universidades dedicadas a la investigación han triplicado sus esfuerzos. El incremento aparente del esfuerzo de las empresas en materia de ciencia básica, en el último decenio, ha de imputarse en gran me-

CUADRO 4
FINANCIACIÓN Y REALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN BÁSICA EN LOS ESTADOS UNIDOS
(miles de millones de dólares 1987)

	1965	1975	1985	1994
Financiación				
Total Estados Unidos	9,0	9,9	15,0	25,0
Gobierno Federal	6,4	6,8	9,7	15,0
Empresas	1,6	1,4	3,0	5,9
Universidades/ Enseñanza superior	0,6	1,0	1,5	2,9
Organismos con fines no lucrativos	0,4	0,6	0,7	1,2
Realización				
Total Estados Unidos	9,0	9,9	15,0	25,0
Gobierno Federal	1,3	1,5	2,0	2,2
Empresas	2,1	1,5	3,0	7,6
Universidades/ Enseñanza superior	4,0	5,1	7,0	11,1
Organismos con fines no lucrativos. Otros	1,6	1,8	3,0	4,1

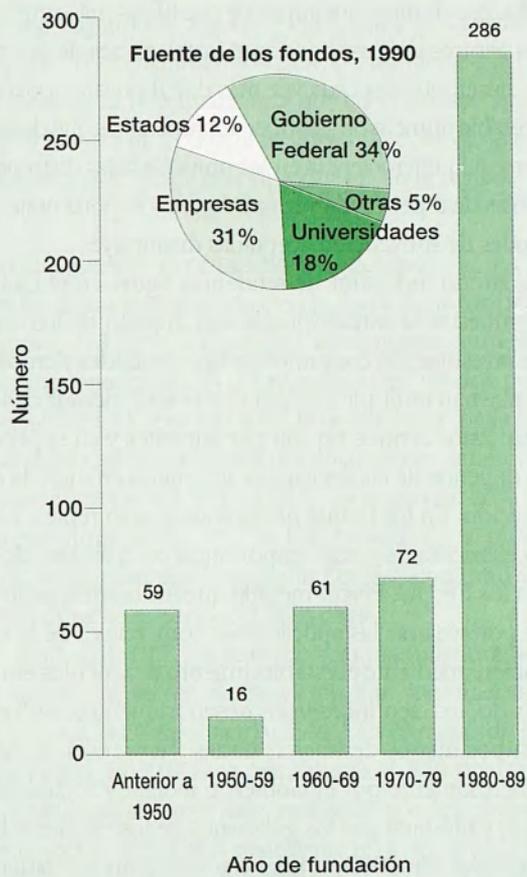
Fuente: NSF, 1994.

GRÁFICO 6
FINANCIACIÓN FEDERAL DE LA INVESTIGACIÓN CIVIL REALIZADA EN LAS UNIVERSIDADES DE LOS ESTADOS UNIDOS, POR TIPO DE APOYO



didada a un muestreo más perfeccionado y amplio de su actividad efectiva, y no al hecho de que hayan concedido una prioridad global mayor a la investigación en este ámbito, como se explicará con detalle más adelante. No obstante, si se toman en consideración el estado de ánimo y la situación económica del país en 1995, es sumamente improbable que aumente sustancialmente la financiación de la ciencia básica en las universidades en los próximos años.

GRÁFICO 7
DESARROLLO DE LOS CENTROS DE INVESTIGACIÓN UNIVERSIDAD-INDUSTRIA Y FUENTES DE FINANCIACIÓN, EN LOS ESTADOS UNIDOS



Nota: Los datos se refieren a los centros existentes en 1990. Se estima que hay 1.058 centros, de los cuales 458 proporcionaron datos sobre su financiación y 494 sobre su fundación.

Fuente: Cohen, Florida y Goe, 1993.

Los investigadores y administradores de las universidades estadounidenses tienen presentes otros dos indicadores. El primero figura en el Gráfico 6 e ilustra el descenso del porcentaje de la financiación destinada a los investigadores individuales en la década de los ochenta. Aunque esta disminución —de algo más del 55 % al 50 % aproxima-

damente—no sea muy importante, confirma que la competencia por la obtención de subvenciones de menor cuantía se ha agravado. Sería una simplificación excesiva afirmar que se trata de un indicio inequívoco de marginar la «investigación de curiosidad». Sin embargo, los esfuerzos acrecentados para fomentar equipos de científicos más amplios, nuevos centros de investigación e instalaciones de importancia, hacen que sea cada vez más difícil prestar apoyo al considerable número de científicos competentes que desean dedicarse a la microciencia en las universidades. Esto provoca colas de espera cada vez más largas y el porcentaje de solicitudes de subvención aceptadas disminuye.

El segundo indicador de tendencia figura en el Gráfico 7 y muestra el extraordinario crecimiento de los centros de investigación conjuntos de universidades y empresas, que se han multiplicado por cuatro en la década de los ochenta. Estos centros no son permanentes y su supervivencia depende de las decisiones adoptadas en materia de financiación. En los treinta últimos años, sólo representaron un elemento de escasa importancia en el ámbito de la I+D, en los EE.UU. Pero a medida que fue aumentando el interés por acelerar las aplicaciones comerciales de la investigación, mediante el establecimiento de vínculos entre el mercado, los científicos y sus descubrimientos, se crearon equipos mixtos de universidades y empresas, apoyados generosamente por el Gobierno federal y sociedades privadas, y también por los gobiernos de los estados y las universidades. En 1990, la financiación conjunta —federal y empresarial— representaba los dos tercios de los recursos de este tipo de centros.

En el futuro, independientemente de la cuantía de la financiación federal para la ciencia básica y aplicada, continuarán ejerciéndose presiones sobre las universidades para que presten una mayor contribución al crecimiento económico. Esto las conducirá a ampliar y a estrechar sus vínculos con empresas de I+D con vocación comercial. Al mismo tiempo, las universidades estadounidenses tratarán de explotar sus derechos de propiedad intelectual con mayor perspicacia, agresividad y flexibilidad, en sectores como la biotecnología, la informática, los nuevos materiales y la electrónica.

Los centros universitarios de investigación estadounidenses están reestructurando su acción y su política en ámbitos muy diversos, y están considerando: (a) la modernización de instalaciones y equipamiento anticuados —este problema se remonta a mucho tiempo atrás y no se resolverá inmediatamente, sobre todo en un momento en que hay pocos fondos gubernamentales disponibles—; (b) la creación de puestos de trabajo iniciales y permanentes para jóvenes investigadores, entre los que figuren mujeres y personas pertenecientes a grupos minoritarios —también se trata de un objetivo inveterado que ahora se complica con recientes disposiciones legales que permiten a los profesores universitarios jubilarse más tarde—; y (c) la reducción de la financiación destinada a investigación y formación de ulteriores generaciones de investigadores médicos, causada por las crecientes amenazas y restricciones que pesan sobre los hospitales universitarios, cuyos ingresos se están reduciendo a consecuencia de la fiscalización pública de los gastos de asistencia médica.

Perspectivas

Para los centros de enseñanza superior y universidades estadounidenses dedicados a la investigación científica, las perspectivas hasta el final de los años noventa son inciertas y contrastadas. Aunque se sigan necesitando científicamente

CUADRO 5
GASTOS EN I+D EN EL SECTOR DE EMPRESAS
EN LOS ESTADOS UNIDOS

	En miles de millones de dólares de los Estados Unidos (ppp)		
	1989	1991	1994 (est.)
Canadá	3,7	4,2	4,9
México	0,33	0,5	nd
Estados Unidos	102,0	117,0	124,0

nd = no disponible.

Fuentes: NSB 93-1; NSF 94-327; OCDE, 1994.

cos, ingenieros y médicos competentes –por no hablar de la creciente demanda de personal de apoyo, formado técnicamente, para laboratorios de empresas, servicios financieros, comunicaciones, informática, etc.–, las universidades tendrán que arreglárselas con restricciones presupuestarias de todo tipo y replantearse sus funciones, como la mayor parte de las empresas tuvo que hacerlo en los años ochenta. En una época en que la «reducción de dimensiones» es inminente, las universidades siguen teniendo dificultades para llegar a comprender claramente cuál ha de ser su «dimensión apropiada». Tendrán que optar por soluciones que puedan consolidar sus misiones específicas y aumentar su productividad, al mismo tiempo que cooperan eficazmente con los centros privados y públicos de I+D por encima de las líneas divisorias geográficas e institucionales.

CUADRO 6
I+D REALIZADA POR LAS EMPRESAS
EN LOS ESTADOS UNIDOS, 1955-1994

	En miles de millones de dólares de los Estados Unidos				
	1955	1965	1975	1985	1994
Federal	2,2	7,7	8,6	27	26
Empresas	2,5	6,4	16	57	101
Total	4,6	14	24	84	127

	En miles de millones de dólares constantes de 1987 de los Estados Unidos				
	1955	1965	1975	1985	1994
Federal	9,5	27	17	29	20
Empresas	11	22	32	60	80
Total	20	50	49	89	100

Fuente: NSF, 94-327.

CIENCIA Y TECNOLOGÍA EN LAS EMPRESAS

En el último decenio, las empresas han operado cambios espectaculares en los procesos de adquisición de conocimientos para impulsar innovaciones en la creación y perfeccionamiento de productos, procedimientos y servicios. En este capítulo se describen estos cambios y se analiza en especial la situación en los EE.UU., donde se calcula que el total de la I+D financiada por las empresas superó en 1994 la cifra de 100.000 millones de dólares, lo cual representó el 95 % de este tipo de I+D en la región.

Tendencias y comparaciones globales

En los últimos veinte años, en la mayoría de los países del mundo, la I+D financiada por las empresas aumentó más rápidamente que la I+D financiada con fondos públicos. En los EE.UU., por ejemplo, la financiación de la I+D por parte del Gobierno federal (en dólares constantes) aumentó un 30 % entre 1974 y 1994, mientras que la de las empresas aumentó un 144 %. En el Cuadro 5 se presenta la I+D de las empresas correspondiente al conjunto de la región durante el periodo 1989-1994.

En los EE.UU., las empresas no manufactureras pertenecientes al sector de servicios han incrementado sus gastos en I+D espectacularmente en el curso de los últimos años. En 1975, se calculó que el 3 % del total de la I+D industrial había sido realizado por las empresas de este sector. En 1987 realizaron el 9 %, y el 25 % en 1992, que es el año de la última encuesta de la National Science Foundation (NSF) sobre la I+D industrial. Esta encuesta la lleva a cabo la Oficina del Censo del Departamento de Comercio de los Estados Unidos de América con el apoyo de la NSF. No se dispone de estadísticas equivalentes para Canadá y México.

La finalidad de la encuesta de 1992 de la NSF era proporcionar una información representativa de todas las empresas estadounidenses, públicas y privadas, con actividades de I+D. Esta vez el tamaño de la muestra de la encuesta fue dos veces mayor que el de la efectuada en 1987, a fin de representar mejor a nuevas empresas que realizan este tipo de investigación y a fin de reflejar con mayor fi-

delidad la I+D efectuada en el sector de servicios. Cuando se comparan los datos revisados correspondientes a 1991 –reunidos en la encuesta de 1992– con los datos proporcionados por la encuesta efectuada en 1991, podemos percatarnos de la existencia de una sorprendente discontinuidad, consistente en un incremento de 15.000 millones de dólares; la NSF está elaborando un algoritmo para que exista una continuidad regular entre los resultados de la encuesta de 1987 y los de 1992. En el Cuadro 6 se proporcionan los mejores datos disponibles, correspondientes al primer año de cada década del periodo 1955-1994.

El entorno de la investigación industrial

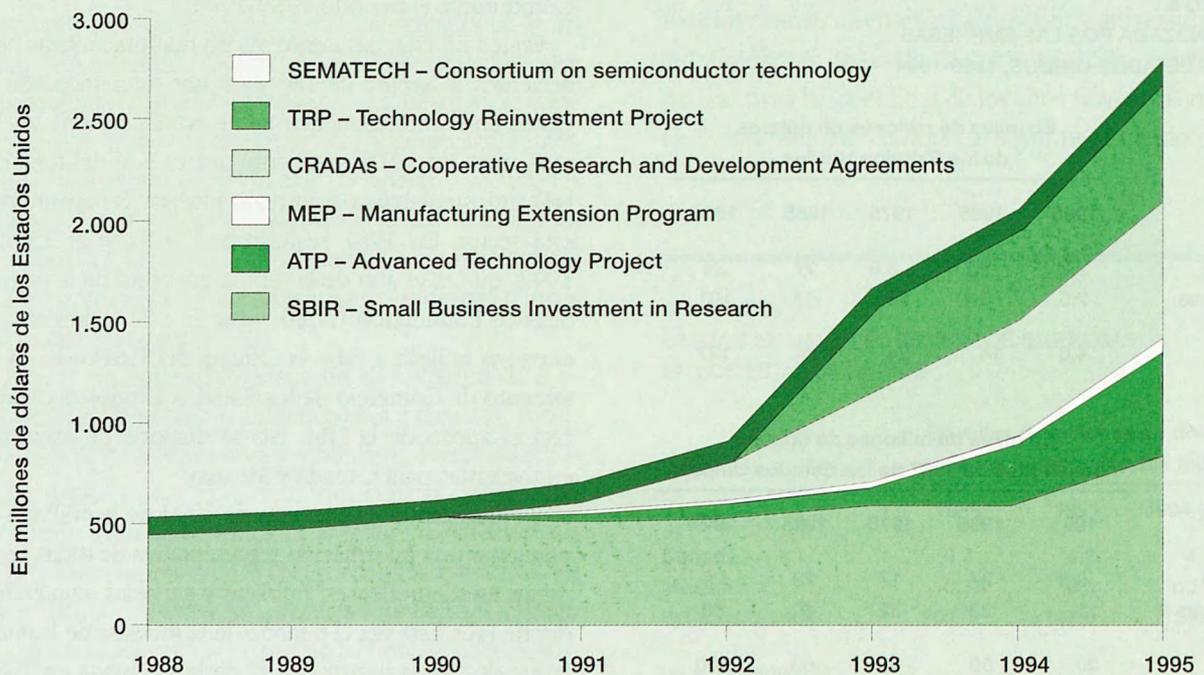
En los últimos veinticinco años, la índole y los límites de la I+D industrial han registrado cambios profundos, especialmente en el último decenio. Parece ser que ya ha pasado –y probablemente no volverá– lo que algunos conside-

ran como la «edad de oro» de la investigación empresarial en los EE.UU., que se ha caracterizado por vastos programas a largo plazo llevados a cabo en grandes laboratorios centralizados.

Actualmente, el mercado es el motor implacable de la I+D industrial. Los mercados son mundiales y quedan pocos reductos de proteccionismo. En las industrias desarrolladas desde hace mucho tiempo, como la química, el mercado se caracteriza por la existencia de fabricantes que tratan de obtener un bajo costo de producción, independientemente del grado de perfeccionamiento de la tecnología y de la situación geográfica. La I+D es uno de los costos que han de ser controlados mediante restricciones de programas internos de las empresas, conclusiones de alianzas tecnológicas, o compras de tecnología necesaria.

Los ciclos de vida de los productos siguen acortándose. Las firmas que triunfan en el mercado no sólo tienen

GRÁFICO 8
ALGUNAS ASOCIACIONES ENTRE EL GOBIERNO Y LAS EMPRESAS EN LOS ESTADOS UNIDOS



Los años que aparecen son años fiscales (por ejemplo, año fiscal 1995 = 1 octubre 1994 a 30 septiembre 1995).

Fuente: Departamento de Comercio de los Estados Unidos.

que innovar mejor, sino más rápido. En los laboratorios de las empresas, esto se traduce por plazos cada vez más cortos para la I+D. Un proyecto de I+D de tres años de duración se considera actualmente como un programa a plazo muy largo. Como ninguna empresa puede efectuar ya investigaciones en todas las esferas importantes de su actividad, la búsqueda de fuentes de tecnología externas se ha convertido en una práctica común. El recurso a estas fuentes puede revestir formas diferentes: adquisición de servicios de I+D, proyectos e ingeniería; alianzas tecnológicas con otras empresas; participación en consorcios de I+D; cooperación universidad-industria; y obtención de patentes.

La suerte que van a correr los laboratorios centrales de investigación de las grandes empresas es motivo de inquietud para numerosos observadores del panorama de la I+D. En el pasado, los hallazgos de estos laboratorios creaban nuevos tipos de actividad para las empresas que los financiaban. Esto era posible gracias a las competencias y recursos consagrados a programas de investigación a largo plazo, financiados con los fondos de las empresas. Como en la actualidad se pone el acento en la rentabilidad rápida de los proyectos, y como además la casi totalidad de su financiación proviene de las unidades específicas de actividad de las grandes empresas, muchos observadores creen que, en el futuro, los laboratorios centrales de investigación se dedicarán principalmente a las mejoras adicionales de productos, procedimientos y servicios ya existentes, y quizás a la creación de algunos nuevos para actividades empresariales ya existentes también. En cambio, ya no proporcionarán resultados que sirvan de base para la creación de actividades empresariales completamente nuevas.

La política tecnológica del Gobierno de los EE.UU. Tras la toma de posesión del Presidente Clinton en enero de 1993, el Gobierno federal se puso rápidamente manos a la obra para aplicar una nueva política tecnológica. A partir de febrero de 1993, el Presidente propuso un aumento espectacular de los fondos federales para financiar el desarrollo de la tecnología, una aceleración de la difusión y comercialización de técnicas a través de los Manufactu-

ring Extension Centres, y otras medidas. También propuso un aumento de los fondos federales destinados a la I+D civil, para que su proporción con respecto a la militar fuese de 50/50 en vez de 41/59. El mayor aumento de fondos propuesto en este ámbito correspondía al desarrollo tecnológico. En cambio, en la política tecnológica del Presidente Bush, expuesta en septiembre de 1990, sólo se hizo mención a un aumento de fondos para la investigación básica exclusivamente. La financiación del desarrollo tecnológico se ha encauzado principalmente hacia programas basados en la asociación con empresas. En el Gráfico 8 puede verse el rápido crecimiento de estos programas en los últimos años. Las cifras del año fiscal 1995 reflejan las estimaciones del presupuesto de la administración Clinton, pero no la repartición efectiva de fondos.

Los resultados de las elecciones a diputados y senadores de noviembre de 1994 han tenido como consecuencia que la política del Presidente Clinton haya sido puesta en tela de juicio. La nueva mayoría republicana en la Cámara de Representantes y en el Senado ha propuesto una reducción del alcance de los nuevos programas de cooperación tecnológica entre el sector público y el privado, por considerarlos característicos de una «política industrial» que implicaba un excesivo gasto de fondos públicos y una desmesurada intervención gubernamental en el mercado. El debate sobre este particular ha suscitado un interés creciente, pero muchas empresas no se han pronunciado todavía en ningún sentido.

Evolución en las empresas

Las empresas se están adaptando rápidamente a los enormes cambios que se están produciendo en su organización y en la situación del mercado. Estos cambios están modificando los conceptos que sus dirigentes tienen acerca de la I+D. Entre los factores más destacados que influyen en la actividad empresarial, cabe señalar tres: las fusiones de empresas, la acción gubernamental y las mutaciones de los mercados impulsadas por los adelantos tecnológicos.

Las fusiones de grandes empresas desembocan en una reducción de la I+D total. Una fusión de empresas de dimensiones equivalentes puede traducirse por una dupli-

cación de las ventas, mientras que la I+D de la nueva firma sólo se multiplicará por 1,5 a causa de la reducción de programas coincidentes. En algunos casos, puede ocurrir que laboratorios enteros resulten superfluos; por ejemplo, la fusión de General Electric con RCA tuvo como consecuencia la venta del David Sarnoff Research Centre, que se ha convertido en un centro de investigación de SRI International y trabaja ahora con contratos de investigación para múltiples empresas.

Las acciones gubernamentales tienen a veces repercusiones muy importantes sobre los laboratorios industriales. Quizás el caso más conocido sea el del desmantelamiento de la American Telephone and Telegraph en aplicación de las leyes antitrust. Esta medida transformó los Bell Telephone Laboratories, que redujeron sus dimensiones en todos los planos y restringieron sus actividades de investigación a largo plazo. Otro resultado de esta medida fue la creación de la empresa Bellcore, para realizar actividades de I+D por cuenta de siete empresas regionales de la Bell. Otros cambios están en curso.

Las mutaciones de los mercados impulsadas por los adelantos tecnológicos han tenido también efectos arrolladores sobre la I+D de las empresas. En el sector de programas y equipos informáticos, por ejemplo, IBM tuvo que reducir la dimensión de la I+D, limitar su ámbito y acortar sus plazos, cuando una multitud de nuevos competidores se apoderó de importantes partes de mercado.

El valor de la I+D para las empresas y los accionistas

Los dirigentes de las empresas no tienen la misma visión de la I+D que los de la generación anterior. Para proporcionar fondos a la I+D, no se basan en una creencia general en los beneficios que toda investigación aporta, ni tampoco en la rentabilidad concreta que ha aportado la I+D a sus propias empresas en el pasado. Ya no resultan convincentes los estudios que demuestran los amplios porcentajes de rentabilidad social de la investigación universitaria y la revalorización del capital en bolsa a causa del éxito obtenido por programas de I+D.

Algunos datos muestran que en EE.UU., en los años ochenta, ha disminuido el valor que los mercados bursátiles atribúan al activo intangible resultante de la I+D. En un decenio, el valor de éste se ha dividido por tres, con respecto al capital inmaterial global. Las razones de esta desvalorización, si llega a ser efectiva, pueden deberse a diversas causas: o bien a una aceleración de la tasa de depreciación de este activo tangible, lo que concordaría con el acortamiento del ciclo de duración de los productos; o bien a un descenso de la tasa de rentabilidad interna de la I+D; o bien, por último, a la creciente incertidumbre que pesa sobre los beneficios que puede aportar la I+D.

Sin embargo, hay otra prueba de que el valor del capital en bolsa de una empresa aumenta, si el incremento de las ventas resultante de la I+D supera suficientemente el costo de la investigación efectuada. Este planteamiento permite establecer el nivel «correcto» de I+D para una empresa determinada; en este caso, la variable crítica es la productividad de la I+D. En la mayoría de los casos, el valor de este nivel depende del sector en que compita la empresa; por ejemplo, las firmas dedicadas a la fabricación de semiconductores y productos farmacéuticos pueden necesitar, para seguir siendo competitivas, una mayor inversión anual en I+D, por unidad de ventas, que las empresas siderúrgicas.

Los estudios de casos efectuados en las empresas son más valiosos que los indicadores económicos globales. Muchas sociedades descubren que el sistema de ventas efectivas proporciona argumentos más convincentes en favor de la I+D que los análisis económicos a escala del país o del conjunto de la industria. No es raro, por ejemplo, que más de la mitad de las ventas de una sociedad provenga de productos que no figuraban en su catálogo diez años antes.

Proporción entre búsqueda e investigación

Hoy en día, los directores generales y administradores sin formación técnica participan más que antes en la elaboración de la estrategia tecnológica de las empresas y en la evaluación de los resultados de las inversiones en I+D. El seguimiento en este ámbito ha llegado a ser posible gracias

a la tecnología informática perfeccionada. Al mismo tiempo, las unidades de I+D industrial tienen estructuras más ligeras y esto significa que la adopción de decisiones se ha desplazado al nivel más bajo posible, porque el ciclo cada vez más corto de los productos impone flexibilidad y responsabilidad inmediata. Por consiguiente, la autoridad de los administradores de la investigación se ha visto debilitada por arriba y por abajo.

La estructura de integración vertical interna de las empresas, tanto en el plano tecnológico como en el comercial, ha sido sustituida en muchos casos por una nueva forma de integración de la competencia tecnológica realizada mediante alianzas entre empresas, que a menudo revisten un carácter internacional. Además, en el laboratorio de cualquier empresa, los científicos e ingenieros —a los que quizás describiríamos mejor con los términos de «proveedores de conocimientos»— están pasando de una dedicación plena a la investigación a una dedicación parcial, dentro de la firma, combinada con la búsqueda de competencias tecnológicas apropiadas fuera de la empresa. Los recursos de las empresas también se van orientando a conceder una mayor importancia a esta búsqueda de recursos tecnológicos externos, y está aumentando la proporción global entre ésta y la investigación propiamente dicha.

Es importante comprender el carácter de las alianzas entre empresas dentro de un mismo sector industrial y a través de diferentes sectores. Cuando las firmas planean sus actividades futuras, efectúan una distinción fundamental entre imperativos estratégicos y diferenciaciones estratégicas. Los imperativos estratégicos son las capacidades que necesita una empresa para satisfacer las normas mínimas de competitividad en un sector de actividad determinado. Las empresas cooperan entre sí para desarrollar y mantener ese mínimo mediante alianzas, consorcios o asociaciones en participación. Esta cooperación puede traer consigo importantes ventajas y una empresa puede pagar muy cara su pretensión de nadar contra la corriente, o sea de querer encontrar por sí sola una solución tecnológica a un problema común. Las diferenciaciones estratégicas son algo muy distinto. Son los elementos que proporcionan ventajas decisivas en el mercado y provocan una intensa com-

petencia entre las empresas. La superioridad tecnológica es la condición necesaria, pero no suficiente, de una diferenciación estratégica duradera.

El futuro

Desde principios de los años noventa, los gastos de las empresas estadounidenses en I+D han permanecido estacionarios. Un estudio llevado a cabo por el Industrial Research Institute (IRI) señala con comedido optimismo que, en 1995, el gasto en I+D será levemente superior al de 1994. La encuesta efectuada en 1992 por la NSF puso de manifiesto un considerable aumento de la I+D industrial, al final de la década de los ochenta, así como de la investigación y del conjunto de la I+D en el sector de servicios. No obstante, todavía no se dispone de una explicación detallada de estos datos y la mayoría de los administradores de la investigación, así como algunos estudios anteriores de las empresas que son miembros del IRI, consideran que el apoyo empresarial a la I+D no ha aumentado sustancialmente desde mediados de los años ochenta.

En la presente década, la adquisición y aplicación de nuevos conocimientos supera ampliamente la mera cuestión de la financiación de la I+D. Ninguna empresa, por grande y poderosa que sea, es capaz de producir en sus laboratorios toda la nueva tecnología que necesitan sus actividades. Al mismo tiempo que efectúan investigaciones en sus propios laboratorios, las empresas llevan a cabo amplias prospecciones para encontrar conocimientos relacionados con sus mercados, productos o servicios. Tienen que ser más rápidas que sus competidores y esto significa que presionan para acortar los ciclos de los productos, innovar con mayor inteligencia y rapidez, y obtener nuevos conocimientos de manera eficaz. Los dirigentes de las empresas piensan que la I+D es un gasto y no sólo una inversión. Por consiguiente, en los EE.UU. se viene ejerciendo una gran presión desde la cúspide de las firmas para aumentar sustancialmente la productividad de la I+D.

¿Qué nos deparará el futuro? Es probable que la I+D financiada por las empresas y las actividades conexas de búsqueda de tecnologías aumenten en términos reales en el próximo decenio. Aunque puede esperarse que aumen-

te la productividad de la «búsqueda e investigación», los adelantos menos difíciles en este ámbito ya se han realizado. Esto implica que quizás estén en perspectiva aumentos de fondos y de personal. Lo que sí es difícil predecir es que esto vaya a producirse dentro de un año o de cinco.

COOPERACIÓN INTERNACIONAL

Podemos hablar de tres perspectivas en materia de cooperación internacional. La primera se refiere a las instituciones internacionales, porque la evolución de las necesidades y el aumento de los problemas relativos a la investigación, efectuada en múltiples ámbitos de la ciencia, la técnica y la medicina, tienen repercusiones sobre todas las naciones y todos los ámbitos. La segunda se refiere a las necesidades y acciones de cada país de América del Norte, habida cuenta de sus objetivos nacionales específicos. La tercera se refiere a las acciones de cooperación entre los tres países de la región, basadas en la vecindad, los intereses científicos recíprocos y diversos aspectos de índole política, social y económica.

Perspectivas generales

Como los científicos de todos los países, los de América del Norte poseen una cultura internacional adquirida mediante la participación en reuniones y experiencias conjuntas, el estudio de las publicaciones científicas, y el trato con competidores y colegas de todas partes. Pero se sienten cada vez más insatisfechos con numerosos dispositivos de la cooperación internacional científica, técnica y médica. La competencia económica internacional, que tiene una base tecnológica, es la que produce en parte esta insatisfacción, a causa de las recientes tendencias a restringir la difusión de los resultados de la investigación cada vez que los intereses comerciales pueden peligrar. Además, las instituciones internacionales dedicadas a facilitar la cooperación se hallan en la situación de afrontar nuevas exigencias y de competir por la obtención de fondos cada vez más escasos; por lo tanto, necesitan renovarse. Se ha llegado a acuerdos específicos para coordinar proyectos mundiales de investigación de gran envergadura, en ámbitos como el

de la física de altas energías, la fusión, el SIDA y el genoma humano. La obligación de compartir costos, incluso en proyectos científicos de escasa importancia, hace que la cooperación sea más importante y la administración de ésta más compleja.

En el futuro, el reexamen de la infraestructura internacional de cooperación ha de orientarse en dos direcciones. La primera consiste en partir de la base, es decir, interrogar a los científicos, técnicos y médicos investigadores, principiantes o a mitad de carrera, sobre las posibilidades y necesidades. La segunda consiste en partir de la cúspide e implicar en dicho reexamen a dirigentes de las esferas gubernamentales, universitarias y empresariales, que conocen los puntos fuertes y débiles del sistema vigente, y que pueden relacionar los objetivos a largo plazo de los sectores público y privado con las funciones a asignar a la ciencia y la técnica. La finalidad de esto será planear reformas institucionales que puedan contribuir a hacer más dinámico el desarrollo nacional, regional y mundial.

Los criterios de decisión en este reexamen son más complejos actualmente que hace diez años. Por ejemplo, las comunicaciones electrónicas representan un nuevo instrumento tan poderoso que la necesidad de establecer una coordinación centralizada se ha modificado, o incluso ha mermado. Al mismo tiempo han surgido nuevas necesidades de planificar y financiar conjuntamente proyectos importantes, así como de coordinar a escala mundial la recopilación, interpretación y difusión de información almacenada en grandes bases de datos. Como ya no se puede contar con una amplia financiación del sector público, se pueden necesitar nuevas estructuras para garantizar la calidad, eficiencia, fiabilidad, participación y productividad de las inversiones en investigaciones de gran alcance en el próximo siglo.

El medio ambiente ilustra vívidamente la complejidad de los retos que se plantean. Con la expansión en el plano mundial de la investigación relacionada con las ciencias ecológicas, toda inversión importante debe ir vinculada a mejoras perceptibles de las políticas destinadas a acrecentar la calidad del medio ambiente, sin sacrificar las perspectivas del crecimiento económico. Desde la evaluación

de los riesgos en el plano local hasta la coordinación nacional o internacional de la investigación, todos los países tienen como objetivo hacer que sus propios conocimientos científicos progresen, y aprender el método de aplicación de los mejores resultados de la investigación mundial a la adopción de decisiones relativas a la política del medio ambiente.

En EE.UU., una parte del interés por el ensanchamiento de la cooperación internacional proviene del penoso hecho de que el país ya no puede permitirse la financiación de proyectos megacientíficos –por ejemplo, los relacionados con la fusión–, situados en las fronteras de disciplinas esenciales como la ingeniería y la física. Estos proyectos cuestan centenares de millones de dólares –miles de millones, incluso– y necesitan un trabajo complejo y prolongado a lo largo de diez años o más. El Departamento de Energía, la NASA y la NSF están implicados en el apoyo público a estos proyectos. Algunos de ellos se han abandonado por problemas políticos y financieros complejos, entre los que figuraban importantes aumentos de los costos, en algunos casos. En el futuro, la cooperación internacional será esencial para la realización de estos proyectos y tendrá que comprender la planificación, la concepción, la financiación y la administración.

Tendencias regionales

Aunque no se dispone de estudios fiables a este respecto, evaluaciones provistas de fundamento cifran en millares los contactos de importancia que mantienen anualmente los científicos, técnicos y médicos investigadores de Canadá, Estados Unidos y México. Una parte considerable de estos contactos están relacionados con la microciencia, es decir, que consisten en el modo tradicional de transmisión recíproca de información y técnicas practicado en la comunidad científica. Muchas de las relaciones en curso han sido facilitadas por una nueva actividad trilateral, de la que son ejemplo notable los acuerdos económicos como el Tratado de Libre Comercio. Esta actividad se ha fomentado aún más con las comunicaciones electrónicas. Pero, al mismo tiempo, la creciente competencia económica de los tres países en los mercados mundiales puede conducir a

que determinadas posibilidades de cooperación en el ámbito de la I+D se examinen más de cerca, para no poner en peligro ventajas comerciales.

Entre las estructuras formales de la colaboración científica en América del Norte, cabe señalar el acuerdo trilateral entre la National Science Foundation de los Estados Unidos, el CONACYT de México y el National Science and Engineering Research Council de Canadá. La cooperación trilateral se realiza por intermedio de numerosos proyectos específicos, que abarcan desde el estudio de las migraciones de pájaros hasta las normas alimentarias y farmacéuticas. Estudiantes y graduados universitarios circulan libremente a través de las fronteras; y la tendencia a largo plazo seguirá apuntando, probablemente, hacia una intensificación de los intercambios, a pesar de que las actuales restricciones presupuestarias de los tres países vayan a reducir seguramente el flujo internacional de estudiantes y jóvenes investigadores. Es muy probable que los EE.UU. sigan siendo el socio principal de Canadá y México en el plano científico.

En el periodo 1993-1994, México declaró que se comprometía a elevar sus inversiones en I+D hasta alcanzar el 1 % del PIB, de aquí al año 2000. A pesar de las recientes perturbaciones económicas, este país reemprenderá probablemente la marcha hacia este objetivo tan pronto como las circunstancias se lo permitan. Este aumento de la I+D potenciaría la capacidad de México para participar en una labor de investigación en el plano regional, junto con Canadá y los EE.UU. Además, la cooperación científica y técnica de América del Norte se extenderá probablemente a la región Asia-Pacífico y a algunas partes del hemisferio occidental.

Cooperación en la megaciencia

Por megaciencia se entiende el conjunto de vastos proyectos o programas de investigación centrados esencialmente en la ciencia básica. En función de las instalaciones, cabe distinguir dos principales tipos de megaproyectos: los centralizados y los diseminados. La megaciencia en el plano mundial es objeto de estudio detallado en el capítulo del presente Informe consagrado a este tema.

CUADRO 7
FINANCIACIÓN DE LA I+D MILITAR
EN LOS ESTADOS UNIDOS, 1994-1995

	Año fiscal 1994 (real)	Año fiscal 1995 (est.)
(en miles de millones de dólares de los Estados Unidos)		
Investigación básica	1,2	1,2
Desarrollo preliminar	2,7	3,0
Tecnología de alto nivel	6,2	4,3
Experimentación/Validación	2,7	4,3
Desarrollo de técnicas e industrias	7,3	8,9
Apoyo administrativo	3,4	3,4
Desarrollo de sistemas funcionales	11,2	10,2
Total	34,6*	35,4*

* La suma de las cifras no coincide con el total a causa de redondeos y ajustes.

Fuente: Datos del Departamento de Defensa de los Estados Unidos y AAAS.

CUADRO 8
DESGLOSE DE LOS CRÉDITOS FEDERALES PARA I+D
EN LOS ESTADOS UNIDOS, 1995

Sectores	% I+D total	% investigación básica
Defensa	55	9
Salud	16	44
Espacio	11	12
Energía	4	7
Ciencia general	4	19
Otros (comprendidos medio ambiente y agricultura)	10	9

Fuente: Datos de la NSF, 1995.

Canadá y los EE.UU. han participado, y participan todavía hoy, en la construcción y explotación de megaproyectos centralizados. Los científicos de ambos países y de México han participado como «clientes» de megaproyec-

CUADRO 9
CONJUNTO DE LA I+D E INSTALACIONES DE I+D,
POR SECTORES, 1980-1994

	Año fiscal 1980	Año fiscal 1994
(en miles de millones de dólares constantes del año fiscal 1987)		
Defensa	21,8	30,3
Espacio	6,8	6,6
Salud	6,0	9,2
Energía	6,0	2,5
Ciencia general	2,0	2,5
Recursos naturales/ Medio ambiente	1,4	1,7

Fuente: Datos de la AAAS, 1994 y 1995.

CUADRO 10
ESTRATEGIA Y PRIORIDADES CIENTÍFICAS
Y TECNOLÓGICAS DEL DEPARTAMENTO DE DEFENSA DE
LOS ESTADOS UNIDOS (SEPTIEMBRE DE 1994)

Principios de orientación

1. Tecnología de transición para satisfacer necesidades militares
2. Costo reducido
3. Reforzar la base industrial comercial-militar
4. Promover la investigación básica
5. Garantizar la calidad

Prioridades tecnológicas basadas en la defensa global

1. Ciencia y tecnología informáticas
2. Creación de prototipos y simulación
3. Sensores

Prioridades del Ejército de Tierra: Ciencias de la Tierra y materiales blindados

Prioridades de la Marina: Geofísica del océano y análisis de sintonía acústica

Prioridades de las Fuerzas Aéreas: Física de la atmósfera y lanzamientos espaciales

Fuente: US Department of Defense, 1994.

tos centralizados y como investigadores en megaproyectos diseminados. Ambos tipos de proyectos son de esencial importancia para los adelantos en determinadas disciplinas científicas y para la solución de problemas fundamentales que la comunidad mundial tiene planteados, como el cambio de clima, por ejemplo.

Los recursos financieros disponibles para la construcción de instalaciones para megaproyectos son cada vez más escasos en Canadá y EE.UU. La anulación del proyecto estadounidense de Supercolisionador Superconductor (SSC) y el abandono del proyecto canadiense KAON constituyen una prueba evidente de esta penuria de fondos. En cambio, un punto positivo es la prosecución del proyecto de construcción de los telescopios Gemini, en la que trabajan conjuntamente Canadá, los EE.UU. y el Reino Unido.

El problema quizás más acuciante con el que tropiezan los patrocinadores de megaproyectos diseminados es el del tratamiento de datos. Además de las cuestiones fundamentales de costos y eficacia de su recopilación, almacenamiento y difusión, deben tratarse problemas importantes relativos a sus normas de calidad y a las condiciones —comprendidas las financieras— que es preciso establecer, para que los investigadores del mundo entero puedan tener acceso a ellos.

Las acrecentadas capacidades y los bajos costos de las comunicaciones modernas han influido en el debate sobre los acuerdos institucionales de financiación y administración de los megaproyectos. En el caso de la microciencia, está desapareciendo en cierta medida la necesidad de que existan instituciones para coordinar y catalizar la cooperación internacional. Pero en la esfera de la megaciencia, el proceso «ascendente» de las consultas científicas sólo puede tratar los aspectos más fáciles del problema: el valor científico y la viabilidad. Las cuestiones de prioridad científica y de viabilidad financiera son diferentes, y su resolución exige decisiones gubernamentales e instituciones que organicen el apoyo público y privado. La evolución de las instituciones científicas internacionales podría desembocar, en el futuro, en la aparición de nuevos organismos poderosos encargados de la megaciencia y en una radical reestructuración de las entidades dedicadas a la cooperación en microciencia.

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO MILITAR

En la región de América del Norte, los programas de I+D militar son mucho más importantes en los EE.UU. que en Canadá y México. Por consiguiente, la mayor parte de este capítulo se dedicará al examen de la situación en los EE.UU.

La política de defensa y su financiación

Los gastos militares de los EE.UU. bajan; desde 1985, el presupuesto de defensa ha disminuido un 40 % en términos reales. Estas restricciones y las subsiguientes reestructuraciones, mediante fusiones o adquisiciones, de las empresas que trabajan para la defensa, han ocasionado la supresión de un millón de puestos de trabajo desde 1987. Están previstas más reducciones de gastos y pérdidas sustanciales de empleos hasta finales de la década de los noventa.

Como la mayoría de las empresas que trabajan para la defensa y sus proveedores producen bienes y servicios de tecnología avanzada, las repercusiones efectivas sobre la I+D del sector privado son graves. En los laboratorios gubernamentales y las universidades también se sufren las consecuencias de las reducciones de fondos proporcionados por la defensa para actividades de I+D. En líneas generales, las disciplinas más afectadas son la física, la ingeniería, las matemáticas y la informática.

En los años cincuenta, la defensa llegó a representar más del 50% del total de los fondos consagrados por el Gobierno federal a la investigación básica; y en los años sesenta, ese porcentaje bajó y sólo alcanzó un 25 % aproximadamente. En los años setenta y ochenta siguió disminuyendo hasta situarse en torno a un 10 %; en cambio, en esos años fue cuando los institutos nacionales de la salud y otros organismos federales invirtieron mayores porcentajes en la investigación. En la década de los ochenta y a principios de los años noventa, la I+D militar, que representaba el 20 % de la inversión nacional en I+D en las universidades, disminuyó y apenas llegó a alcanzar el 5 %.

Al producirse cambios en la financiación, también los hubo en el debate sobre la I+D militar. Durante el pasa-

do decenio, se produjeron vivas discusiones sobre el contenido de algunos proyectos clave; por ejemplo, se debatió si la defensa con misiles balísticos estratégicos era técnicamente viable y compatible con una política prudencial de control de armamentos y de seguridad nacional. A mediados de los años noventa, hubo múltiples debates que se centraron sobre todo en la idea y objetivos de la I+D de «doble utilización», es decir, en la financiación con fondos públicos del trabajo de investigación orientado hacia fines civiles y militares al mismo tiempo, como en el Proyecto de Reinversión Tecnológica. En un momento en que el Congreso de los Estados Unidos prevé reducciones importantes de los créditos destinados a la investigación militar efectuada en las universidades, se han manifestado de nuevo inquietudes acerca de la preservación futura de la base científica y técnica necesaria para los programas militares del país.

En el Cuadro 7 se presentan datos recientes sobre la financiación de la I+D por parte del Departamento de Defensa. Las dos primeras líneas —a menudo agrupadas bajo la denominación común de «base tecnológica»— representan las actividades de ciencia básica y aplicada, que constituyen la fuente principal de financiación para los investigadores universitarios. Esta base de unos 4.000 millones de dólares ha permanecido relativamente estable hasta ahora —especialmente la investigación básica—, pero en la actualidad se están ejerciendo fuertes presiones para reducirla.

En el Cuadro 8 se comparan los porcentajes de créditos atribuidos en 1995 a la defensa, en concepto de I+D y de investigación básica, con los porcentajes correspondientes a otros sectores del gasto público federal. En el Cuadro 9 se presentan los fondos asignados a la I+D —y a instalaciones conexas— en 1980 y 1994, desglosados por sectores públicos.

Las prioridades de la I+D militar en los EE.UU.

En septiembre de 1994, el Departamento de Defensa de los EE.UU. publicó dos informes importantes relativos a la estrategia científica y tecnológica (Science and Technology Strategy) y a un plan tecnológico (Techno-

logy Plan). En el Cuadro 10 se presentan los principales componentes de la estrategia. En los planes se producen cambios cada año, cuando se dan a conocer los presupuestos y los resultados de la I+D. No obstante, es probable que estas orientaciones políticas se mantengan durante esta segunda mitad de los años noventa.

Aunque, en los años ochenta y principios de los noventa, el Departamento de Defensa siguió concediendo gran importancia a la investigación básica, es probable que a corto plazo reduzca los fondos destinados a ésta, como ya ocurrió en 1995. En la medida en que disminuyan los fondos consagrados a la investigación con objetivos militares, las universidades se verán afectadas, porque son ellas las que realizan la mayor parte de la investigación básica de índole militar. En 1994, del total de 11.600 millones de dólares de fondos federales destinados a la I+D en las universidades, el Pentágono proporcionó 1.500 millones de dólares. Del Departamento de Defensa proviene casi la mitad de los créditos federales para la investigación en las ramas de matemáticas e informática, y más del 40 % de los fondos destinados a la investigación tecnológica. La estabilidad de esta financiación y su reparto entre los diferentes sectores clave van a ser probablemente temas cruciales en el periodo 1995-1996, cuando se adopten decisiones sobre la política científica y tecnológica de los EE.UU.

A finales de 1994, se anunciaron los objetivos detallados, presupuestos y plazos de ejecución de las investigaciones a efectuar en diecinueve sectores tecnológicos vinculados a la defensa. Entre estos sectores prioritarios figuran la propulsión aérea y espacial, la defensa química y biológica, múltiples aplicaciones de electrónica avanzada, y también la creación de prototipos y la simulación. Estos trabajos de investigación representan decenas de miles de millones de dólares, a lo largo de varios años, para llevar a cabo el desarrollo preliminar, la creación y la construcción de prototipos. La mayor parte de esta labor será llevada a cabo por empresas, pero su base científica implícita exigirá la intervención de los laboratorios gubernamentales y las universidades. Los laboratorios pertenecientes al Departamento de Defensa también están siendo objeto de reexamen y restricciones, como el resto de los programas militares.

Los laboratorios nacionales del Departamento de Energía

Los EE.UU. cuentan desde hace mucho tiempo con un conjunto de laboratorios nacionales asociados al Departamento de Energía. Estos laboratorios polivalentes investigan sobre armas nucleares y sobre muchos otros temas relacionados con la energía, el tratamiento de residuos, la ingeniería de materiales, las técnicas biomédicas y el medio ambiente. Las misiones de algunos están muy vinculadas a la investigación militar. Tres de ellos –Los Álamos, Lawrence Livermore y Sandia– totalizan un presupuesto de casi 3.000 millones de dólares y sus efectivos suman 20.000 empleados.

Estos laboratorios tratan de diversificar sus actividades, porque la investigación sobre los armamentos disminuye: antes representaba el 60 % de su presupuesto y ahora solamente el 40 %. Su objetivo es encontrar nuevos clientes y desarrollar sus relaciones con empresas y universidades más relacionadas con objetivos y mercados civiles. Como poseen competencias extraordinarias y una larga tradición de excelencia, los cambios efectuados hasta ahora en ellos se han caracterizado por una gran prudencia. Una transformación más radical necesitará varios años. Pero se suprimirán empleos cuando los presupuestos se reduzcan más, y también a medida que los acuerdos para el desempeño de nuevas misiones permitan que se operen transiciones, con mayor o menor éxito, hacia otros ámbitos de investigación como la ciencia y tecnología del medio ambiente.

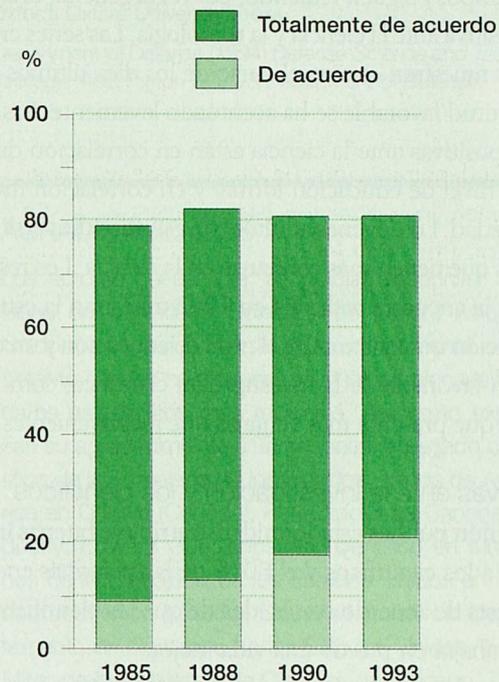
Un grupo independiente de expertos ha examinado recientemente soluciones sustitutivas para el porvenir de los laboratorios del Departamento de Energía, y ha llegado a la conclusión de que éstos no han definido todavía nuevas misiones viables y que las medidas del Gobierno no son adecuadas. Al Gobierno federal no le va a resultar fácil tomar una decisión sobre la manera de proceder en este caso, sobre todo si se tiene en cuenta que algunos observadores proponen que los presupuestos de estos laboratorios se reduzcan un 50 % por lo inenos.

Canadá y México

Los gastos de Canadá en I+D militar representaron unos 250 millones de dólares en el periodo 1993-1994 y no es pro-

bable que aumenten sustancialmente, debido a la austeridad global del presupuesto del país. El número de empleados federales que se dedican a la ciencia y tecnología militares registró una leve disminución en el periodo 1991-1994. Canadá sigue siendo teniendo una participación muy importante en las actividades de la OTAN e interviene en operaciones de mantenimiento de la paz y misiones de carácter diplomático y militar en las que se utilizan tecnologías avanzadas. México, en cambio, tiene un programa de defensa muy limitado e invierte poco en I+D militar.

GRÁFICO 9
ACTITUD DEL PÚBLICO EN LOS ESTADOS UNIDOS
ANTE EL APOYO FEDERAL A LA INVESTIGACIÓN
CIENTÍFICA BÁSICA, 1985-1993



Pregunta: «Aunque no aporte ventajas inmediatas, la investigación científica, que abre nuevas fronteras al conocimiento, es necesaria y debe ser apoyada por el Gobierno federal. ¿Está usted totalmente de acuerdo con esto? ¿De acuerdo? ¿En desacuerdo? ¿Totalmente en desacuerdo?».

ACTITUDES DEL PÚBLICO ANTE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

La gran mayoría de los ciudadanos tienen una opinión favorable de la ciencia y la tecnología. Esta actitud positiva se manifiesta, por ejemplo, con motivo de los debates políticos sobre la financiación de la I+D por parte de los gobiernos. Las disposiciones legales y las estructuras fiscales tienden a favorecer también a la educación y la ciencia, especialmente en los EE.UU. No obstante, por encima de los temas específicamente financieros, un amplio volumen de datos censales nos revela que los ciudadanos estadounidenses están evolucionando hacia una actitud menos entusiasta.

Aspectos positivos

Los adultos estadounidenses han tenido, desde hace mucho tiempo, y siguen teniendo, por regla general, una actitud positiva ante la ciencia y la tecnología. Las series cronológicas muestran que en el curso de los diez últimos años esta actitud favorable se ha acentuado levemente. Las actitudes positivas ante la ciencia están en correlación directa con el nivel de educación formal y en correlación inversa con la edad. Los jóvenes adultos con estudios universitarios son los que tienen más confianza en la ciencia. Los resultados de la encuesta realizada en 1993 muestran la estrecha correlación que existe entre el nivel de educación y una evaluación favorable de la investigación científica, como elemento que presenta más ventajas que inconvenientes.

Reservas ante la investigación y los científicos

La opinión pública estadounidense atribuye buenas intenciones a los científicos y el 80 % de las personas encuestadas está de acuerdo con la idea de que los científicos desean trabajar en pro de una vida mejor.

Sin embargo, la misma encuesta de 1993 nos muestra que la mitad de los estadounidenses estiman que muchos científicos manipulan o falsifican los resultados de las investigaciones, cuando les interesa. Esto confirma los temores de muchos científicos de que la confianza del público en la ciencia puede verse socavada y de que pueden pesar amenazas sobre los créditos públicos para la investigación científica, si no se aborda de frente la cuestión de la inte-

gridad profesional. Otro motivo de inquietud persistente para la opinión pública es la utilización de animales —especialmente mamíferos— para experimentos científicos. Sobre este punto existe una división de opiniones casi equilibrada, aunque hay una leve mayoría a favor de la utilización de mamíferos, como los perros, en la investigación biomédica. Estos temas controvertidos refuerzan lo que algunos consideran como un limitado movimiento anticientífico ascendente, que zapa la confianza en la misma ciencia y en los programas que se basan en ella.

Aprobación del apoyo gubernamental a la investigación científica

Se ha convertido en una práctica tradicional en los EE.UU el prestar apoyo a las actividades de I+D, realizadas con una finalidad práctica, tanto el sector público como el privado; y un buen ejemplo de esto son los presupuestos de I+D de los organismos encargados de la defensa, la energía y la salud. Pero el apoyo a gran escala del Gobierno federal a la investigación básica se remonta solamente a la Segunda Guerra Mundial. Existe un amplio consenso —80 % de opiniones sistemáticamente favorables— acerca de que este apoyo constituye una importante responsabilidad de las autoridades federales. Sin embargo, cuatro encuestas efectuadas entre 1985 y 1994 ponen de manifiesto una tendencia preocupante. En el Gráfico 9 se confirma la existencia de la mencionada mayoría del 80 %, pero la proporción de personas que están «totalmente de acuerdo» con la idea de que la investigación básica ha de contar con el apoyo del Gobierno federal pierde 10 puntos porcentuales a lo largo del periodo considerado. La campaña desarrollada para reducir los déficits gubernamentales, y los ataques mordaces contra la función y repercusiones de la ciencia en la sociedad, se conjugan para dar como resultado una actitud de mayor reserva de los ciudadanos con respecto a las inversiones en la investigación científica.

CONCLUSIÓN

En América del Norte, los presupuestos para la ciencia se han reducido, las empresas privadas invierten con cautela en las actividades de I+D y la investigación universita-

ria se ve como una fortaleza asediada. Estas tres características generales se dan en Canadá, EE.UU. y México, con diversas variantes.

Ante la perspectiva de una persistencia probable de los límites impuestos a la financiación de la actividad científica y técnica, los gobiernos de la región están reexaminando a fondo las prioridades en materia de investigación. El combate que libran para financiar la ciencia básica y estructurar nuevas políticas, que estimulen la creación de puestos de trabajo y el crecimiento económico en el plano nacional, podría conducir a importantes cambios institucionales. En EE.UU., concretamente, hay fuerzas poderosas que tienen como objetivo reducir el gasto público; y las presiones ejercidas en este sentido afectarán obviamente a la I+D. Un vivo debate tiene lugar a propósito de los objetivos, amplitud y campo de acción de las alianzas establecidas entre el sector privado y el sector público en relación con los mercados comerciales de I+D intensiva.

La comunidad científica no se ha adaptado todavía a estas exigencias contradictorias. No obstante, existen muchas posibilidades en un gran número de disciplinas y los adelantos científicos y técnicos son indispensables para la realización de la mayor parte de los objetivos sociales y económicos. Por consiguiente, los cinco últimos años de la década de los noventa quizás se señalen por un incremento de las inversiones en I+D del sector privado, ya que no del público.

BIBLIOGRAFÍA

- AAAS, Intersociety Working Group (1995) *Research and Development FY 1996*, AAAS Report XX, Washington, DC: AAAS.
- Banco Mundial (1994) *World Development Report*, Nueva York: Oxford University Press.
- Carnegie Commission (1992) *Enabling the Future: Linking Science and Technology to Social Goals*, Nueva York: Carnegie Commission on Science, Technology and Government.
- Clinton, W. J. and Gore, A., Jr (1994) *Science in the National Interest*, Washington, DC: Executive Office of the President, Office of Science and Technology Policy.
- Cohen, W., Florida, R. and Goe, W. R. (1993) *University Industry Research Centers in the United States: Final Report to the Ford Foundation*, Pittsburgh: Carnegie Mellon University.

Cole, J. R., Baxter, E. G. and Graubard, S. R. (eds) (1994) *The Research University in a Time of Discontent*, Baltimore y Londres: Johns Hopkins University Press.

CONACYT, 1994, *Ciencia y Tecnología en México*, Ciudad de México, México.

Industry Canada (1994) *Resource Book for Science and Technology Consultations*, Volúmenes I y II, Ottawa: Secretariat for Science and Technology Review.

National Science Board (1993) *Science and Engineering Indicators*, Washington, DC: US Government Printing Office.

National Science Foundation, 1994, *Science and Technology Pocket Data Book* (NSF-94-323) y otras publicaciones, NSF, Division of Science Resources Studies, Arlington, Virginia.

New York Academy of Sciences (1995) *Science, Technology, and the 104th Congress: Perspectives on New Choices*, Nueva York: New York Academy of Sciences.

OCDE (1994) *Main Science and Technology Indicators*, París: Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos.

PNUD (1994) *Informe sobre el desarrollo humano*, Nueva York y Oxford: Oxford University Press.

US Department of Defense (1994) *Defense Science and Technology Strategy*, Washington DC, US Department of Defense.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean dar las gracias a Jennifer Sue Bond de la National Science Foundation, Estados Unidos de América, por la ayuda sumamente competente que les ha dispensado al proporcionarles los datos estadísticos más recientes. Asimismo expresan su agradecimiento a Terry Jones, agregado científico de la Embajada de los Estados Unidos de América en Ottawa (Canadá); Paul Dufour de Canada Industry; Edward Goff, consejero científico en funciones de la Embajada de los Estados Unidos en Ciudad de México (México); Graham Mitchell del Departamento de Comercio de los Estados Unidos; y Jon Miller de la Academia de Ciencias de Chicago. También agradecen a James Clovis (Rohm and Haas), George Heilmeyer (Bellcore), Charles Larson (Industrial Research Institute) y William Ballhaus (Martin Marietta) sus valiosos pareceres sobre la evolución de la I+D industrial. Edward Harcourt, de la Academia de Ciencias de Nueva York, se encargó de las tareas indispensables de apoyo editorial y administrativo.

Rodney W. Nichols es presidente y director ejecutivo de la «Academy of Sciences» de Nueva York, y anteriormente fue vicepresidente y presidente ejecutivo de la Universidad Rockefeller (1970-1990) e investigador residente en la Carnegie Corporation de Nueva York (1990-1992). Se graduó en la Universidad de Harvard, y ha trabajado como especialista en física aplicada, analista de sistemas y director de I+D en la industria privada y en la administración gubernamental.

Ha sido asesor, entre otros, de los siguientes organismos: Oficina de Política Científica y Tecnológica de la Casa Blanca, los Departamentos de Estado, Defensa y Energía, la Fundación Nacional de la Ciencia, el Instituto Nacional de la Salud, y las Naciones Unidas.

Ha sido miembro del comité ejecutivo de la Comisión Carnegie sobre Ciencia, Tecnología y Gobierno (1989-1994), en la que asumió la dirección de las actividades internacionales. Actualmente se ocupa de los medios para estrechar los lazos entre ciencia, tecnología y desarrollo económico, para reforzar las universidades dedicadas a la investigación, y para renovar las instituciones que facilitan la cooperación científica mundial.

J. Thomas Ratchford es director del Centro de Estudios de Política Científica, Comercial y Tecnológica y profesor de política científica y tecnológica internacional en la Universidad George Mason, en la que se dedica a la enseñanza e investigación sobre diversos aspectos de política científica y tecnológica, en particular sobre la interfaz entre intercambios y tecnología.

El Dr. Ratchford, cuya especialidad es la física de los estados sólidos, ha sido miembro del claustro de la Universidad de Washington y Lee e investigador de diversos laboratorios privados y oficiales. Más adelante administró un programa de investigación básica de la Oficina de Investigación Científica del Ejército del Aire, antes de ingresar en la plantilla de profesionales del Comité de Ciencia y Tecnología del Congreso de los Estados Unidos.

Más tarde fue nombrado oficial ejecutivo adjunto de la «American Association for the Advancement of Science» (AAAS), en la que fue suplente del director ejecutivo y se encargó de tres direcciones de la Asociación.

Antes de su traslado a la Universidad George Mason en 1993, el Dr. Ratchford fue director adjunto para política y asuntos internacionales de la Oficina de Política Científica y Tecnológica de la Casa Blanca.

América Latina

GUILLERMO CARDOZA Y RAIMUNDO VILLEGAS

En nuestra contribución al *Informe Mundial sobre la Ciencia* de 1993 se presentó una breve visión histórica de la evolución de la investigación científica en América Latina desde el período colonial hasta el presente, y se describió, a grandes rasgos, la estructura del sector ciencia y tecnología (C&T) de los países de la región. Además, se incluyó una visión panorámica del estado de la ciencia, utilizando como indicadores el número de personas dedicadas a labores de investigación y desarrollo (I+D) y de unidades de investigación en los diferentes campos, el gasto, la producción científica y la cooperación regional e internacional. Así mismo, se hicieron algunas sugerencias para fortalecer a los sectores nacionales de C&T y promover la cooperación científica regional (Villegas y Cardoza, 1993).

El presente capítulo trata sobre importantes aspectos del sector C&T en el marco de la actual situación de América Latina. Primero, se presenta una visión global de la situación de la ciencia, y hasta donde la información disponible lo permite, se enriquecen las estadísticas de C&T incluidas en el reporte de 1993. De igual manera, se incluyen algunos indicadores económicos como aporte al debate sobre el papel que la ciencia debe desempeñar en la creación de un nuevo modelo de desarrollo basado en la ciencia y la tecnología.

A continuación se analizan otros aspectos considerados de importancia para el desarrollo de la ciencia en América Latina. Éstos son: el establecimiento de prioridades para el financiamiento de C&T; la relación entre educación y C&T con especial énfasis en la formación de recursos humanos para C&T; la evaluación de la cooperación científica en América Latina, la mención de algunas de las principales iniciativas regionales en este campo y el papel de las nuevas tecnologías de telecomunicación en la cooperación. Finalmente, se analiza la situación del sector C&T en el contexto de la crisis que atraviesan los países de la región desde comienzos de la década de los 80.

Considerando que los esfuerzos realizados por los científicos de América Latina han tenido un impacto moderado en la mayoría de los países de la región es de suma importancia armonizar las políticas de C&T y de industrializa-

ción para asegurar que la C&T contribuya al proceso de modernización industrial, prerequisite para dinamizar el crecimiento económico hasta el nivel requerido para reducir la pobreza e incorporar a la mayoría de la población al proceso de desarrollo. Consideraciones similares podrían hacerse para sectores con un alto componente de C&T tales como salud, agricultura, ambiente y energía.

Con el propósito de ilustrar la diferencia que puede significar para América Latina la armonización de la política de C&T con otras políticas nacionales se realiza una comparación entre la situación de Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México y Venezuela, los cinco países de mayor producción científica de América Latina y la situación presente de la República de Corea, Singapur y Taipei China (anteriormente Taiwan), tres de los países asiáticos recientemente industrializados (PARI).

SITUACIÓN DE LA CIENCIA EN AMÉRICA LATINA

En los Cuadros 1 y 2 se presentan los indicadores de educación, ciencia y desarrollo económico para los años 1980 y 1990 con el propósito de estudiar sus variaciones y posibles relaciones. En el Cuadro 1 se muestran las cifras de población total, el número de estudiantes inscritos en educación superior, el personal de I+D y el número de publicaciones científicas producidas en los países de América Latina. En el Cuadro 2 se presentan los valores del producto interno bruto (PIB), el PIB per cápita, la inversión interna bruta (IIB), la tasa de inflación y los gastos en educación y en I+D como porcentajes del PIB. La tarea de adelantar un estudio comparativo de este tipo se dificulta debido a la carencia de eficientes sistemas nacionales de estadísticas de C&T.

El Cuadro 1 revela un aumento considerable en el número de estudiantes de educación superior por 100.000 habitantes para la mayoría de los países de la región entre 1980 y 1990, siendo este incremento mayor para Argentina, Bolivia, Colombia, Chile, Cuba, El Salvador, Honduras, Uruguay y Venezuela. Se observan reducciones en Brasil, Ecuador, Nicaragua y Paraguay. Como ha sido señalado por la UNESCO (1995), la expansión cuantitativa de la

CUADRO 1
CIENCIA Y EDUCACIÓN SUPERIOR EN AMÉRICA LATINA

País/sub-región	Población (millones)		Estudiantes en educación superior por 100.000 habitantes		Personal de I+D por millón de habitantes		Publicaciones científicas por millón de habitantes	
	1980	1990	1980	1990	1980 ¹	1990 ¹	1980	1990
México	69,6	86,1	1 387	1.552	194 (84)	260 (91)	15,8	15,7
América Central								
Costa Rica	2,2	3,0	2 434	2 461	145 (79)	538 (89)	42,2	29,0
El Salvador	4,5	5,1	372	1 512	123 (81)	28 (89)	-	1,2
Guatemala	6,9	9,2	736	-	53 (74)	219	6,1	3,6
Honduras	3,7	5,1	705	854	-	138	3,0	1,6
Nicaragua	2,7	3,8	1 259	836	197 (85)	207 (87)	0,4	1,3
Panamá	1,9	2,4	2 064	2 181	120 (75)	354	5,3	38,3
Caribe								
Cuba	9,7	10,6	1 568	2 285	553	1.205 (89)	6,3	13,9
República Dominicana	5,4	7,1	-	-	-	70	2,0	2,7
Andina								
Bolivia	5,6	7,4	1 494	1 975	-	137 (86)	4,3	3,8
Colombia	25,9	32,3	1 024	1 496	139 (81)	138	4,3	5,8
Ecuador	8,1	10,2	3 321	1 950	194 (79)	84 (84)	1,7	3,9
Perú	17,3	21,5	1 771	3 450	530	-	4,3	6,6
Venezuela	15,0	19,3	2 044	2 847	279 (83)	284 (89)	29,4	22,0
Brasil	121,2	150,3	1 162	1 074	298 (83)	432	17,3	19,8
Cono Sur								
Argentina	28,2	32,3	1 741	3 293	337	352 (88)	46,5	60,4
Chile	11,1	13,1	1 305	1 938	320 (81)	422	98,4	83,8
Paraguay	3,1	4,2	855	769	-	-	0,5	11,9
Uruguay	2,9	3,1	1 338	2 315	-	675	15,5	25,2

1. Año preciso de los datos, entre paréntesis.

Fuentes: ACAL, 1994; ISI, 1980 y 1990; UNESCO, 1993 y 1994; Banco Mundial, 1992a.

educación superior en la mayoría de los países desafortunadamente no fue acompañada por incrementos similares en calidad y pertinencia, ni por un aumento proporcional en el personal de enseñanza de la ciencia.

En el mismo Cuadro 1, los datos sobre personal de I+D por millón de habitantes también revelan incrementos en la mayoría de los países para los cuales se disponía de información. Es preciso señalar que para algunos países

dichos datos corresponden a años próximos a 1980 y 1990 y cuyos valores fueron normalizados por la población del año correspondiente (entre paréntesis). Aumentos significativos en el número de personal pueden observarse en Argentina, Brasil, Costa Rica, Cuba, Chile, Guatemala, México, Panamá y Venezuela, y reducciones en Ecuador y El Salvador. La falta aparente de correlación entre el crecimiento en personal de I+D y el número de publicaciones

CUADRO 2
GASTOS EN CIENCIA Y EDUCACIÓN Y SITUACIÓN ECONÓMICA DE LOS PAÍSES DE AMÉRICA LATINA

País/sub-región	PIB ¹ Millones de US\$ de 1988		PIB per cápita US\$ de 1988		Inflación Tasa media anual (%)	Inv. Int. Bruta Tasa media de crecimiento anual (%)	Gasto en educación como % del PIB		Gasto en I+D como % del PIB	
	1982	1990	1982	1990	1980-91	1980-90	1980	1990	1980 ²	1990 ²
México	169 170	184 080	2 498	2 266	66,5	-2,0	4,7	4,1	0,43	0,30
América Central										
Costa Rica	3 674	5 081	1 517	1 685	22,9	0,7	7,8	4,6	0,14 (86)	0,16
El Salvador	4 771	5 477	1 032	1 043	14,4	-0,6	3,9	1,8	-	0,90 (89)
Guatemala	7 376	8 290	1 008	901	15,9	-1,4	1,9	1,4	0,50 (83)	0,20 (88)
Honduras	3 103	3 915	788	762	6,8	0,4	3,2	4,6	-	-
Nicaragua	2 517	1 961	851	506	583,7	-3,7	3,4	-	0,37 (85)	-
Panamá	4 851	4 742	2 374	1 961	2,4	-2,8	4,9	5,5	-	0,40
Caribe										
Cuba	-	-					7,2	6,6	-	0,80
República Dominicana	4 324	4 856	723	677	24,5	0,2	2,2	-	-	-
Andina										
Bolivia	6 280	6 525	1 069	892	263,4	-6,2	4,4	3,0	-	-
Colombia	34 365	46 989	1 224	1 425	25,0	0,9	1,9	2,9	0,10 (82)	0,60
Ecuador	11 790	13 336	1 370	1 260	38,0	-4,2	5,6	2,8	0,13 (79)	0,11 (89)
Perú	34 001	29 083	1 883	1 350	287,3	-5,2	3,1	-	0,20 (84)	-
Venezuela	61 865	65 027	3 881	3 295	21,2	-7,0	4,4	4,1	0,35 (84)	0,37
Brasil	275 689	333 162	2 173	2 216	327,6	2,2	3,6	4,6	0,44	0,66
Cono Sur										
Argentina	87 241	86 355	2 999	2 672	416,9	-7,0	3,6	-	0,77 (81)	0,80 (92)
Chile	23 571	33 289	2 046	2 527	20,5	0,6	4,6	3,7	0,44	0,55
Paraguay	5 278	6 659	1 572	1 557	25,1	1,2	1,5	-	0,16 (71)	0,03
Uruguay	7 653	8 539	2 593	2 760	64,4	-8,5	2,3	3,1	0,20 (75)	0,20 (87)

1. PIB: Producto Interno Bruto. 2. Año preciso de los datos, entre paréntesis.

Fuentes: ACAL, 1994; BID, 1992 y 1993; MTC, CNPq e IBICT, 1994; UNESCO, 1993 y 1994; Banco Mundial, 1991 y 1993.

científicas puede deberse, entre otros factores, al tiempo necesario para que el nuevo personal empiece a ser productivo. Un caso ilustrativo puede ser el de Venezuela, donde el incremento en personal de 1990, sin el correlativo incremento en las publicaciones de este mismo año, podría ser la causa del crecimiento de las publicaciones observadas en 1993 (Gráfico 1). Sin embargo, otros facto-

res, tales como la creación del Sistema para la Promoción del Investigador en ese país en 1990, podrían también explicar el incremento en las publicaciones en 1993. En otros casos, la falta de correlación podría deberse a diferencias en los sistemas de clasificación de personal de I+D.

El número de publicaciones científicas por millón de habitantes, tomado como un indicador de la producción

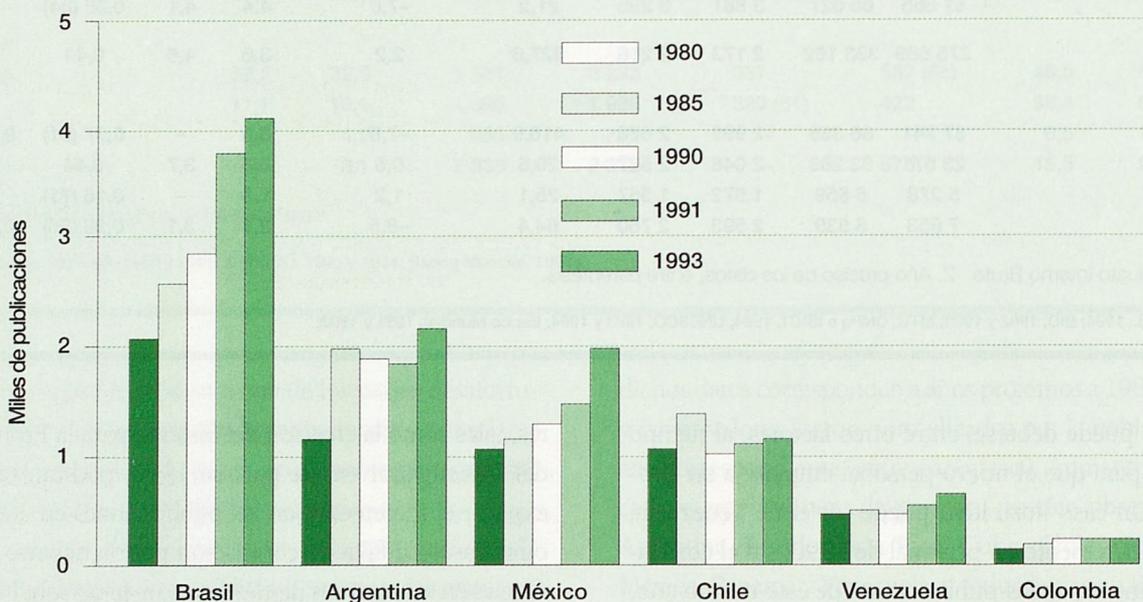
científica, aumentó significativamente en 1990 respecto a 1980 en Argentina, Cuba y Panamá, y se redujo en Costa Rica, Chile y Venezuela. Es preciso señalar que los países con el mayor número de publicaciones para los dos años del estudio fueron: Argentina, Brasil, Colombia, Chile, México y Venezuela. Los datos correspondientes a estos países para los años 1980, 1985, 1990, 1991 y 1993 se muestran en el Gráfico 1. Del número total de publicaciones científicas producidas por América Latina en 1980 y 1990, iguales a 6.551 y 8.727 respectivamente, esos seis países contribuyeron con 94,0 % y 91,5 %, respectivamente.

En el Cuadro 2 se muestran los datos correspondientes a los gastos en educación y en I+D como porcentajes del PIB para 1980 y 1990. Como se observa, de los 14 países para los cuales se disponía de información, en nueve de ellos (Bolivia, Chile, Costa Rica, Cuba, Ecuador, El Salvador, Guatemala, México y Venezuela) hubo un importante

descenso en el gasto en educación. En el caso del gasto en I+D se aprecia una reducción similar en cuatro países (Guatemala, Ecuador, México y Paraguay) de los 11 con datos disponibles. Es importante señalar que en ningún caso el gasto en I+D alcanzó el 1 % del PIB.

Las reducciones en los gastos en educación y en I+D se debieron a la crisis económica que afecta a la región desde el comienzo de los años 80, y particularmente a la salida de capitales relacionada con el endeudamiento externo. Como se ve en el Cuadro 2, la mayoría de los países de América Latina registraron importantes reducciones en el ingreso per cápita y en la inversión interna bruta, y también experimentaron altas tasas de inflación, alcanzando en oportunidades niveles de hiperinflación como ocurrió en Argentina, Bolivia, Brasil, Nicaragua y Perú. Como una consecuencia de esta situación económica y de la devaluación de las monedas nacionales, los presupuestos de los centros de investigación declinaron, afectando el salario de

GRÁFICO 1
PUBLICACIONES CIENTÍFICAS DE BRASIL, MÉXICO, ARGENTINA, CHILE, VENEZUELA Y COLOMBIA



Fuente: SCI (1980, 1985, 1991, 1993).

los investigadores, el mantenimiento de la infraestructura y la adquisición de equipos y material de investigación, que en su mayor parte es importado. Algunos países, sin embargo, han tratado de mitigar el impacto de la crisis económica a través de recursos financieros provenientes de organismos multilaterales.

Prioridades para el financiamiento de C&T

En las décadas posteriores a la Segunda Guerra Mundial, los países de América Latina establecieron, con apoyo de la UNESCO, los consejos nacionales de investigación de C&T los cuales concentraron sus esfuerzos en crear una base de C&T en la esperanza de que los progresos científicos se traducirían espontáneamente en desarrollo. Sin embargo, la crisis iniciada en los años 80 puso en evidencia que la producción aislada de conocimientos no conducía automáticamente al desarrollo esperado. Dado que las investigaciones se concentraron fundamentalmente en campos de las ciencias básicas y se realizaron en universidades y centros de investigación con características de escuelas de postgrado, su mayor impacto fue sobre el sistema de educación superior y en menor grado sobre sectores como salud, agricultura y recursos naturales.

Estas experiencias revelaron que la investigación básica, y aun la básica orientada, requieren de decisiones adicionales de política científica de manera de asegurar su aplicación en otros sectores y que sólo excepcionalmente, estas investigaciones impactan en otros ámbitos distintos al científico y educativo espontáneamente. Recientemente, en respuesta a esta situación, los gobiernos y sus consejos de C&T apoyaron la creación de centros de investigación aplicada y/o de desarrollo en áreas de interés particular para sus propios países. Estos centros rápidamente han mostrado la contribución que la C&T puede ofrecer para la solución de problemas importantes en distintos sectores.

Las reducciones presupuestarias en C&T causadas por la crisis de los años 80 y los requerimientos de modernización tecnológica que exige la reestructuración de las economías de la región han contribuido a reactivar la discusión acerca de la necesidad de establecer un sistema de asignación de los recursos de C&T que tome en cuenta las

prioridades de desarrollo de los países. Es necesario entonces, convocar tanto a los responsables de las políticas de desarrollo, como a la comunidad de investigadores para diseñar los mecanismos adecuados para lograr un mejor aprovechamiento del gasto en investigación. En la actualidad, los esfuerzos deberían concentrarse en la creación de canales para este diálogo, de manera que, en el establecimiento de las prioridades de investigación, se consideren los criterios intrínsecos del quehacer científico. En este proceso, la participación del sector político es esencial para asegurar los recursos necesarios para promover la investigación básica y aplicada de alta prioridad, y garantizar, tanto el respeto a las normas que regulan la investigación como el logro exitoso de los objetivos económicos y sociales.

Formación de recursos humanos para C&T

La disminución de la matrícula en las carreras de ciencia e ingeniería que registran varios países de la región está asociada tanto a la pobre formación científica en los niveles educativos básicos, lo cual impide despertar oportunamente las vocaciones, como también, al escaso atractivo que ofrece la carrera de investigador en términos de los ingresos, el reconocimiento social y la estabilidad profesional.

Actualmente es muy difícil ofrecer a la creciente población estudiantil de pregrado, resultado de las políticas de masificación educativa aplicadas durante las últimas décadas (Cuadro 1), un nivel de calidad apropiado en su formación. Algo similar sucede con los programas de postgrado de las universidades y los centros de investigación, aun cuando a este nivel todavía el número de estudiantes es escaso. En el pregrado orientado a la ciencia los factores limitantes son la carencia de personal capacitado y de actividades educativas que atraigan tempranamente a los jóvenes hacia la investigación. Los recortes presupuestarios recurrentes y la disminución del número de docentes a dedicación exclusiva en beneficio del aumento de los docentes contratados a tiempo convencional son algunos de los factores que explican el deterioro en la calidad de la educación. A nivel de postgrado, además de la escasez

de buenos investigadores-tutores y de recursos para la investigación, la falta de reconocimiento y respaldo a la investigación básica y aplicada de buen nivel hace de la ciencia una carrera poco atractiva para los jóvenes.

Es una realidad largamente comprobada que el florecimiento de la ciencia y del arte requiere de terrenos previamente abonados. Con este propósito, los países de la región deberán afrontar el doble desafío de la expansión de la educación y de la enseñanza de la ciencia en todos sus niveles. En efecto, parece ser la única vía posible para incorporar progresivamente la ciencia a la cultura y formar los recursos humanos necesarios para alcanzar un desarrollo más justo y sostenible, basado en la ciencia y la tecnología.

Krauskopf (1993) subraya que «puesto que en América Latina la capacidad científico-tecnológica está mayoritariamente vinculada a las universidades, es imprescindible que éstas reaccionen institucionalmente para otorgar con la debida seriedad y estabilidad, el reconocimiento que la tarea creadora y de reflexión crítica tiene». Ciertamente, las universidades y los centros de investigación requieren de los recursos necesarios para dar una respuesta adecuada a las demandas que impone la modernización de América Latina.

En estas circunstancias, parece recomendable adelantar una evaluación que permita introducir las reformas y correctivos necesarios para redefinir el papel que las universidades y los centros de investigación están llamados a desempeñar en esta etapa de altas exigencias y rápidas transformaciones. Si bien el proceso de evaluación se ha iniciado en varios países de la región, es conveniente señalar que el peligro mayor radica en que las universidades abandonen su vocación esencial de entes productores de conocimientos y se conviertan progresivamente en unidades técnicas de prestación de servicios. Como lo señalan Hasselgren y Nilsson (1990), el desarrollo de actividades de investigación en ciencias básicas y aplicadas en las universidades es además fundamental para garantizar que los profesores «...no sólo tengan la oportunidad de conocer los últimos avances científicos y relacionarlos con las sociedades donde ellos viven, sino también para que, a través

de la investigación, ellos estén en capacidad de enseñar los enfoques y las metodologías científicas». Al respecto Pavitt (1993) anota que «al contrario de lo que se cree comúnmente, el principal beneficio de la investigación básica no es el conocimiento que se pueda aplicar directamente en un grupo restringido de sectores, sino la acumulación de conocimientos, habilidades de investigación, instrumentos y métodos que incrementan los beneficios económicos de un grupo más amplio de sectores».

Por otra parte, es necesario tener presente en la formulación de las políticas de formación de recursos humanos, que la migración de investigadores y personal auxiliar hacia los países desarrollados y la mencionada disminución en el ingreso de estudiantes a las carreras de ciencia e ingeniería, plantean a los países de la región el problema de la creciente escasez de personal para la investigación. Estas tendencias parecen reafirmarse si tomamos en cuenta la creciente globalización de los mercados de trabajo para los investigadores y técnicos de alto nivel y las previsiones que señalan que para los próximos años los países industrializados mantendrán déficits crecientes de este tipo de personal (OCDE, 1992). Esta situación obliga a los países de la región a tomar las medidas necesarias para ofrecer condiciones de trabajo competitivas que les permitan retener a sus científicos y técnicos. A tal fin, es prioritario capacitar a los docentes de ciencia, actualizar los programas de estudio, producir los textos de enseñanza y dotar de infraestructura adecuada a los planteles de educación. Diversas experiencias en la región pueden servir de modelos para adelantar esta importante e inaplazable tarea.

COOPERACIÓN CIENTÍFICA EN AMÉRICA LATINA

Como puede apreciarse en el Gráfico 2, los investigadores de América Latina cooperan principalmente con investigadores de los países industrializados y en menor grado con investigadores de la propia región. Al igual que en nuestro reporte de 1993, utilizamos como indicador de cooperación el número de publicaciones científicas producidas conjuntamente por investigadores de dos o más

países en América Latina en el caso de la cooperación regional, o de uno o más países de América Latina con investigadores de países de fuera de la región en el caso de la cooperación internacional.

La relativa escasez de cooperación regional se debe en gran parte al aislamiento derivado de las dificultades de comunicación entre los investigadores latino-americanos y al escaso número de ellos que trabajan en los mismos campos de frontera de la ciencia o en temas relacionados. Adicionalmente, si consideramos que los programas de postgrado son relativamente recientes en los países de la región, es fácil comprender por qué la mayor parte de la cooperación tiene lugar con los colegas de los países indus-

trializados, donde un gran número de estos investigadores han recibido su título de doctor o ha realizado actividades de postdoctorado. Como lo anotan Hasselgren y Nilsson (1990) «la mayor parte de los investigadores del Tercer Mundo son totalmente entrenados en los países industrializados y han comenzado proyectos de investigación relevantes para los países industrializados y no necesariamente para sus países de origen». Sin embargo, es necesario subrayar que estos contactos personales, derivados de los intereses compartidos en un mismo tema de investigación, facilitan a los investigadores que regresan a sus países de origen su actualización en campos de C&T de frontera y en algunos casos recibir insumos y financiamiento para sus proyectos.

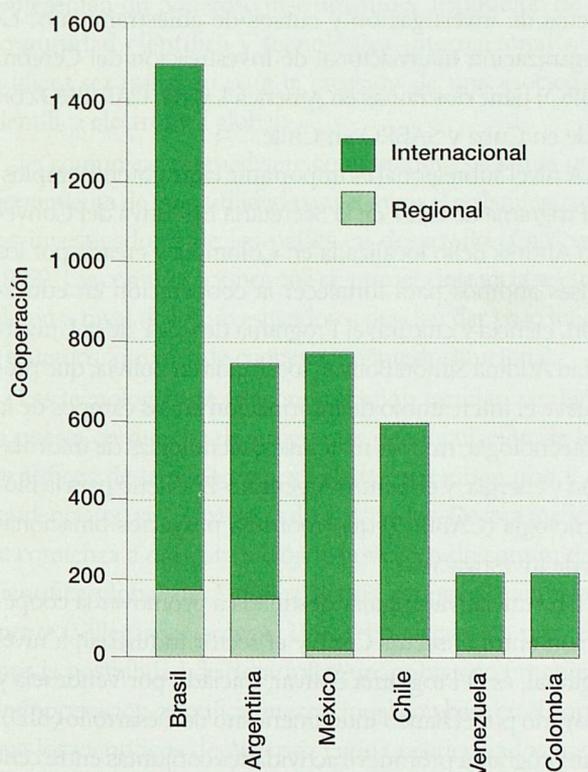
A fin de evitar que cuando las condiciones locales se hacen difíciles, estos vínculos con los países industrializados se conviertan en canales para la migración de estos científicos, es de suma importancia que los países de la región generen condiciones adecuadas para su reinserción. Los organismos nacionales responsables de las políticas de C&T deben definir las áreas en las cuales se requieren recursos humanos y promover la creación de programas de formación de postgrado en dichas áreas. Estos programas deberían estar afiliados de alguna manera a los centros de excelencia científica de los países industrializados. Esto aseguraría los vínculos de los estudiantes de postgrado con las necesidades de sus países y de la región, así como una alta calidad de la educación nacional.

Al mismo tiempo, el fortalecimiento de los vínculos con los científicos de América Latina residentes fuera de la región ofrece canales de gran potencial para la cooperación en áreas de frontera a través del intercambio y la realización de proyectos conjuntos.

Centros regionales, redes y programas de cooperación

Durante las cinco décadas pasadas, UNESCO ha jugado un papel de primer orden en la promoción y desarrollo de la cooperación en C&T en América Latina, principalmente a través del apoyo para la creación de los consejos nacionales de investigación de C&T, de centros regionales para

GRÁFICO 2
COOPERACIÓN CIENTÍFICA REGIONAL E INTERNACIONAL DE BRASIL, MÉXICO, ARGENTINA, CHILE, VENEZUELA Y COLOMBIA 1990



Fuente: SCI (1990).

el adiestramiento y la actualización de recursos humanos y otras iniciativas regionales y nacionales. Además de la UNESCO, otros organismos han promovido actividades científicas en la región, entre ellas encontramos la Organización de Estados Americanos (OEA), el Consejo Internacional de Uniones Científicas (ICSU), la Academia de Ciencias del Tercer Mundo (TWAS) y el Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED).

Los centros regionales creados conjuntamente por UNESCO con algunos países de la región iniciaron sus actividades en las décadas de los 70 y los 80. Entre ellos destacan el Centro Latinoamericano de Física (CLAF), el Centro Latinoamericano de Ciencias Biológicas (CLAB), el Centro Internacional de Ecología Tropical (CIET) y el Centro Internacional de Cooperación Científica Simón Bolívar (CICCSB), el primero con sede en Brasil y los otros tres en Venezuela. Estos centros ofrecen cursos cortos intensivos y talleres de trabajo que han permitido el conocimiento personal de muchos científicos de América Latina interesados en temas relacionados de investigación. Otros centros de carácter internacional apoyados por otros organismos son el Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI) y el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, ambos localizados en Guatemala, el Instituto Interamericano para la Cooperación en Agricultura (IICA) con sede en Costa Rica, el Centro Internacional de la Papa (CIP) en Perú, y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y el Centro Internacional de Física (CIF), ambos localizados en Colombia.

Igualmente encomiable fue la creación de la Red Latinoamericana de Ciencias Biológicas (RELAB), con el apoyo del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y la UNESCO. En la actualidad tiene 14 miembros nacionales (Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, Honduras, México, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela) y seis miembros regionales: las asociaciones latinoamericanas de Bioquímica y Biología Molecular (PABMB), Botánica (ALB), Biología Celular (SIABC), Genética (ALAG), Farmacología (ALF) y Ciencias Fisiológicas (ALACF). RELAB es patro-

cinada por ICSU, UNESCO y la OEA y promueve la integración de las políticas y las actividades regionales de investigación y adiestramiento en ciencias biológicas. Entre sus actividades se encuentran la realización de estudios sobre distintos factores que afectan la investigación en biología en la región y la organización de simposios, talleres de trabajo y cursos de adiestramiento. RELAB es ahora parte de COSTED/IBN, iniciativa de ICSU y UNESCO orientada a crear redes similares a la de biología, en química, matemáticas, física, ciencias de la tierra y astronomía. La Academia de Ciencias de América Latina (ACAL) está también participando en la organización de estas redes temáticas.

Otras redes dedicadas a la investigación en áreas específicas, tales como el Programa Regional de Biotecnología para América Latina y el Caribe (PRB) con sede en Argentina, la Red Latinoamericana de Botánica (RLB) localizada en Chile y el Programa Andino de Investigación sobre Biología de la Altura con sede en Perú, también apoyan proyectos de investigación y cursos de adiestramiento. La Organización Internacional de Investigación del Cerebro (IBRO) tiene dos ramas en América Latina, CARIBRO con sede en Cuba y SABRO en Chile.

A nivel subregional es importante citar, como ejemplos, el Programa de C&T de la Secretaría Ejecutiva del Convenio Andrés Bello localizada en Colombia y creada por los países andinos para fortalecer la cooperación en educación, ciencia y cultura; el Programa de C&T de la Universidad Andina Simón Bolívar, localizada en Bolivia, que promueve el intercambio de información en los campos de la biotecnología, nuevos materiales, tecnologías de información y energía, y el Centro Argentino-Brasileño para la Biotecnología (CABBIO) que coordina proyectos binacionales de investigación.

Una iniciativa singular destinada a promover la cooperación entre el sector C&T y el sector industrial, a nivel regional, es el Programa Bolívar, iniciado por Venezuela y apoyado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Este programa promueve actividades conjuntas entre centros de I+D y empresas localizadas en diferentes países de América Latina.

PAPEL DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS DE LA TELECOMUNICACIÓN EN LA COOPERACIÓN EN C&T

Las nuevas tecnologías de la telecomunicación, caracterizadas por la alta velocidad y el bajo costo, facilitan los flujos de información y la conformación de redes de cooperación en C&T, ya que permiten a investigadores residenciados en diferentes países mantener intercambios de información en áreas comunes de trabajo.

Diversas aplicaciones han sido desarrolladas en el marco de estas redes telemáticas. Entre ellas destacan: el correo electrónico, el acceso en línea a bases de datos bibliográficas y documentales, el uso de capacidades remotas de procesamiento de datos y la creación de grupos de discusión sobre temas específicos. Estas redes ofrecen además la posibilidad de crear los sistemas de información de apoyo a las labores de investigación y a los procesos de difusión tecnológica y de innovación industrial. Estas redes representan un poderoso instrumento a disposición de la comunidad científica y tecnológica internacional que pudiera ser utilizado para la creación de una «sociedad científica electrónica global».

La comunicación mediante computador es además una herramienta de gran utilidad para atenuar el aislamiento de los investigadores de los países en desarrollo (Cardoza, 1993). Las comunicaciones que en primera instancia se establecen a nivel de los investigadores pueden dar paso luego a acuerdos formales de cooperación interinstitucional.

Las tecnologías de telecomunicación facilitan también la puesta en marcha de programas de vinculación de los científicos de la región y sus colegas que emigraron y se residenciaron en los países industrializados. De esta manera se comienza a dar concreción al concepto de comunidad científica global de América Latina propuesto anteriormente (Villegas y Cardoza, 1993). En efecto, allí planteamos la posibilidad de desarrollar un ambicioso programa de cooperación científica internacional con base en el papel que los científicos de América Latina residenciados fuera de la región pueden desempeñar en el desarrollo de la ciencia de sus países de origen y de la región misma.

IMPACTO DE LA CRISIS ECONÓMICA SOBRE LOS SECTORES C&T Y EDUCACIÓN

La herencia de la crisis de la década de los años 80 condiciona las posibilidades de desarrollo futuro de los países de América Latina. Durante esa década, como se observa en el Cuadro 2, el descenso en el nivel de vida de la pobla-

Cooperación regional y la ACAL

La Academia de Ciencias de América Latina (ACAL) es una sociedad científica regional, con sede en Venezuela, patrocinada por la Fundación Simón Bolívar para la Academia de Ciencias de América Latina (FSB-ACAL), organismo de carácter privado. En la actualidad, la ACAL está constituida por 120 científicos de Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, México, Perú, Uruguay y Venezuela, y se encuentra en el proceso de elegir nuevos miembros de los mismos y de otros países para incrementar su membresía a 150.

ACAL tiene un Programa de Cooperación Regional que ha recibido apoyo de la FSB-ACAL, UNESCO, ICSU-COSTED y TWAS. Este programa de cooperación comprende la creación y mantenimiento de bases de datos sobre unidades de investigación, eventos científicos, programas de educación de postgrado y becas, y la difusión de esta información a través de su publicación trimestral, impresa y electrónica, **Ciencia en América Latina**. El Programa de Cooperación Regional también incluye el apoyo a actividades científicas, promoviendo así la participación de investigadores en cursos de adiestramiento y actividades de investigación por períodos cortos; la promoción de redes temáticas regionales y subregionales, y más recientemente, la organización periódica del Foro ACAL sobre política científica. Investigadores científicos de Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Chile, Cuba, Ecuador, Guatemala, México, Panamá, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela han participado en el Programa Regional de Cooperación. ACAL también creó el Centro para Estudios de la Ciencia, unidad de investigación que funciona en la sede de la ACAL y está dedicada al monitoreo y la evaluación de la ciencia y la tecnología en América Latina.

ción estuvo acompañado de una marcada inflación y de una disminución de las inversiones productivas generadoras de empleo. En efecto, comparando los datos publicados por el BID (1993) para las décadas 1970-80 y 1980-90 se puede observar que para el conjunto de los países de la región la tasa media de crecimiento anual del producto interno bruto (PIB) por habitante descendió de 3,3 % a -1,1 % y que la tasa media de crecimiento anual de la inversión interna bruta se redujo de 7,2 % a -3,0 %. Por otra parte, se puede apreciar en el mismo Cuadro 2 que durante la década de los 80 algunos países alcanzaron tasas medias anuales de inflación de tres dígitos.

Los países de América Latina enfrentan situaciones de alta complejidad caracterizadas por presiones externas y por fuertes tensiones internas derivadas de la acumulación de necesidades insatisfechas de grandes sectores de la población en materia de educación, salud, vivienda y servicios públicos. La búsqueda de los recursos financieros para cumplir con el servicio de la deuda externa y el diseño de respuestas a las acuciantes demandas de las poblaciones empobrecidas ocupan la cargada agenda de los equipos de gobierno. Así tenemos que el Estado consume gran parte de sus energías en la gestión cotidiana de la crisis, descuidando la puesta en marcha de políticas de mediano y largo plazo que son la única garantía para alcanzar un desarrollo sustentable y justo.

Además es necesario señalar que la prolongada aplicación de la estrategia de sustitución de importaciones hasta finales de los años 70 tuvo efectos perniciosos sobre la competitividad global de las economías latinoamericanas. Si bien durante las décadas siguientes a la Segunda Guerra Mundial las economías de la región registraron altas tasas de crecimiento y lograron avanzar en las denominadas etapas fáciles de industrialización por sustitución de importaciones, muy pronto se evidenció la falta de capacidad científica y tecnológica en la mayor parte de las empresas para pasar a la fase de la sustitución de manufacturas de alto contenido tecnológico y de bienes de equipo. Como resultado, a comienzos de los años 80, los países de la región, aun aquellos que más avanzaron aplicando estas políticas, sufrieron un estancamiento en su

crecimiento económico, perdieron participación en los mercados mundiales y vieron aumentar su dependencia de la importación de tecnologías.

Así mismo, los privilegios que ofrecía la protección de los mercados internos impidió que las empresas estuviesen expuestas al estímulo de la competencia internacional y propició el desarrollo de una mentalidad rentista en la mayoría de los empresarios, contraria al espíritu de competencia e innovación que caracteriza a la empresa moderna. Ello explica, al menos parcialmente, el fuerte impacto que han ocasionado las políticas de apertura y liberalización sobre la mayoría de las empresas de los países de América Latina.

Por su parte, los programas de ajuste y estabilización concebidos para salir de la crisis han fracasado en alcanzar el tan anhelado crecimiento económico con equidad. Por el contrario, se ha visto agravada la situación de la pobreza y de exclusión de amplios sectores de la población, mientras se continúa concentrando la riqueza en una pequeña porción de ella. La reciente crisis mexicana de comienzos de 1995 y sus efectos sobre las demás economías de la región pusieron en evidencia la fragilidad de las salidas a la crisis implementadas en los países de América Latina. La crisis también ha hecho evidente tanto el carácter estratégico que los sectores educación y C&T deben desempeñar en el desarrollo, como la necesidad de su puesta al día, de manera que puedan contribuir a satisfacer las demandas de modernización en los procesos de reestructuración de las economías de América Latina.

La evolución reciente de la economía mundial, caracterizada por las tendencias de globalización económica, financiera y tecnológica, plantea un gran desafío a los países de América Latina que realizan esfuerzos por modificar su tradicional patrón de inserción en el comercio internacional, que en gran parte continúa basado en la exportación de materias primas y de bienes con escaso grado de transformación. Los países de América Latina están avocados a reemplazar su actual patrón de inserción en la economía mundial por otro más competitivo centrado en la exportación de bienes de alto valor agregado. En esta

tarea los sectores educación y C&T están llamados a desempeñar un papel de primer orden.

Lamentablemente, como ya fue indicado, debido al deterioro de la situación económica de los años 80, la mayoría de los países de la región hicieron importantes reducciones en sus gastos en educación y en I+D. De acuerdo con los datos de la UNESCO (Cuadro 2), en casi la mitad de los países de América Latina disminuyó el gasto en educación como porcentaje del PIB. De igual manera, en la misma década varios países disminuyeron apreciablemente el gasto en I+D y ninguno de los países de la región logró elevar este indicador hasta el 1 % del PIB (Cuadro 2).

Tomando en cuenta las grandes transformaciones en curso de la economía mundial, parece recomendable que los gobiernos de los países de la región evalúen los sectores educación, C&T e industria para identificar sus fortalezas y debilidades. Estas evaluaciones deberían servir de base para adelantar las reformas necesarias para garantizar que cada sector contribuya efectivamente al logro de las metas de desarrollo establecidas. Como lo anotan Papon y Barré (1993), los gobiernos nacionales deben actuar como agentes reguladores de los sistemas nacionales de C&T. A tal efecto, los gobiernos deben realizar el análisis estratégico y las predicciones a nivel nacional, la evaluación de los organismos públicos de investigación, universidades y otras instituciones, y también hacer el seguimiento de las relaciones entre el sector C&T y los sectores educativo e industrial, las otras áreas de intervención del Estado y la social en general.

C&T, industrialización y crecimiento económico

Una de las áreas de mayor interés en los estudios sobre el desarrollo es el de las relaciones entre los sectores C&T e industria. Los países industrializados y los países en desarrollo se diferencian tanto por su capacidad de producción de nuevos conocimientos como por su competencia para aplicarlos. En la mayoría de los países de América Latina la limitada capacidad para generar y aplicar nuevos conocimientos en su sector productivo se refleja, tanto en la obsolescencia de sus sistemas industriales, como en la baja

competitividad de sus empresas, la pérdida progresiva de participación de las economías de la región en los mercados internacionales y la dependencia creciente respecto de los países industrializados.

Por otra parte, el rápido avance de las tecnologías de producción y las nuevas condiciones de competencia que prevalecen en el comercio internacional han conducido a una rápida erosión de las ventajas comparativas que presentan los países de América Latina en razón de la abundancia de sus recursos naturales y del bajo costo de su mano de obra. El desafío consiste en lograr una especialización productiva apoyada en la creación y fortalecimiento de nuevas ventajas comparativas basadas en la generación y aplicación de nuevos conocimientos científicos y tecnológicos. Los países de la región necesitan alcanzar un grado de especialización en I+D en áreas determinadas de manera de garantizar el ritmo de innovación necesario para lograr y mantener los niveles de competitividad exigidos a nivel internacional.

Si bien es posible observar un cierto grado de consolidación del sector C&T en varios países de la región (ver Cuadro 1), es preciso reconocer que la mayor parte de las actividades de investigación no están relacionadas con el sector productivo. Más aún, es notorio el escaso número de empresas que disponen de divisiones internas de I+D orientadas a dar respuesta a las demandas de modernización tecnológica de las propias empresas. La carencia de estas divisiones tiende a limitar la difusión de las tecnologías y la capacidad de absorberlas. Sin embargo, es justo señalar que en años recientes se han hecho esfuerzos serios por lograr la cooperación entre sectores de C&T e industria, tanto a nivel nacional como regional.

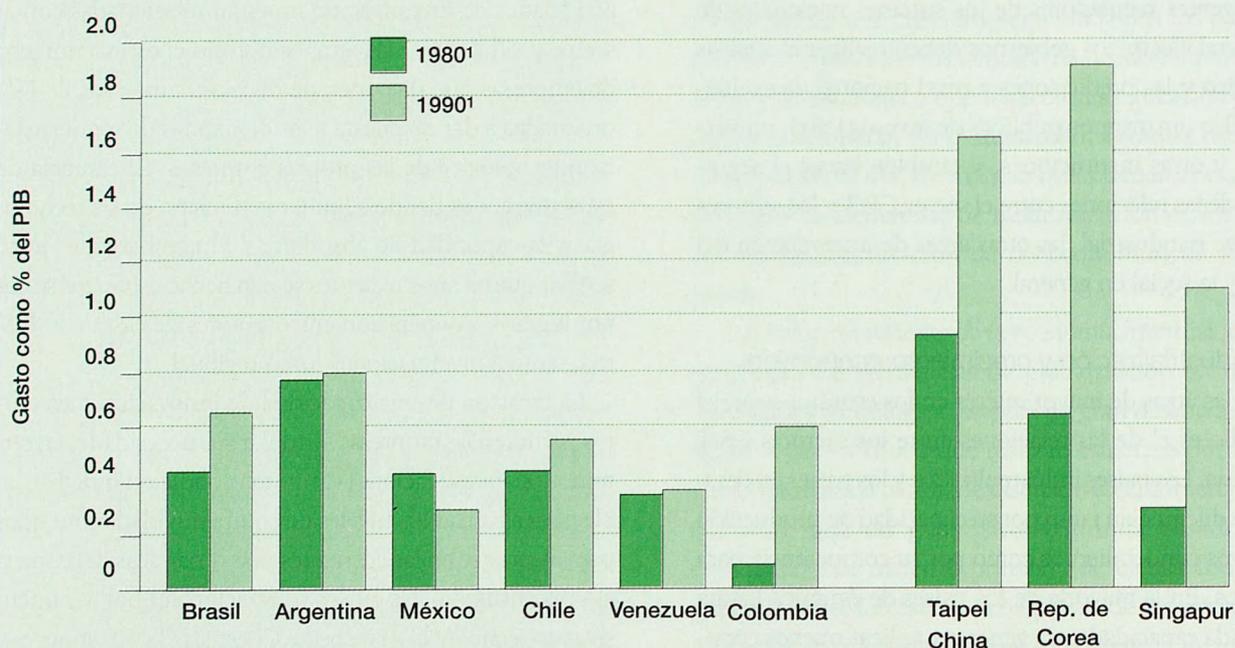
La creación de una capacidad de innovación intramuros permite a las empresas formular sus necesidades en términos de investigación. I+D es una condición indispensable para alcanzar los niveles de competitividad requeridos para insertarse en las corrientes más dinámicas del comercio internacional, las cuales se caracterizan por ser intensivas en tecnología. Al respecto Chesnais (1990) anota que la innovación es el resultado de procesos largos y complejos de acumulación y de apropiación de la tecnología y que

la capacidad de asimilación de conocimientos científicos por parte de una empresa depende de que ellas mismas hayan tenido participación en la producción de conocimientos en áreas similares.

Ante las dificultades para establecer divisiones de I+D en la industria, debido principalmente a la carencia de políticas de estímulo adecuadas, a la falta de personal capacitado y a los altos costos, parece recomendable establecer mecanismos de cooperación e intercambio industria-investigación que, al menos temporalmente, den respuesta a las demandas de I+D de las empresas en sus procesos de innovación. Con este fin, sería preciso promover el acercamiento de los industriales a los centros de investigación en búsqueda de soluciones a sus problemas y de nuevas ideas para sus negocios, y dotar al sector C&T de estructuras que le permitan detectar los problemas y satisfacer las demandas del sector industrial.

Precisamente, con el propósito de construir economías intensivas en conocimientos, como lo sugiere la OCDE (1992), los organismos nacionales responsables de C&T, así como la capacidad nacional de I+D, las instituciones de educación y adiestramiento y los centros de ingeniería y diseño deberían contribuir al establecimiento de sistemas nacionales de innovación que promuevan la cooperación entre los distintos actores que participan en el proceso de innovación. Estos sistemas también deberían favorecer la creación de alianzas estratégicas con empresas transnacionales que estén en capacidad de aportar tanto los recursos tecnológicos y financieros, como el acceso a los mercados internacionales. De esta manera, se contribuiría a crear la capacidad endógena mínima de I+D indispensable para la transferencia y la adaptación de tecnologías y se facilitaría el acceso a las redes mundiales de cooperación técnica y a los sistemas modernos de gerencia y de organización de la producción.

GRÁFICO 3
GASTO EN I+D COMO % DEL PIB PARA PAÍSES SELECCIONADOS
DE AMÉRICA LATINA Y ASIA, 1980 Y 1990



Fuentes: ACAL (1994); CONACYT (1991); CONICIT (1992); MTC, CNPq e IBICT (1994); UNESCO (1993).

Como Quenan *et al.* (1994) indican, las perspectivas económicas de América Latina estarán condicionadas por el potencial de competitividad de sus economías en los mercados internacionales. Con tal propósito, ajustes permanentes en la calidad de la especialización industrial son necesarios para mantener las ventajas competitivas dinámicas, las cuales se derivan principalmente de la innovación tecnológica.

Un caso reciente de armonización exitosa de las políticas de C&T e industrialización

Durante la década de los 80 la República de Corea, Singapur y Taipei China, tres de los países asiáticos recientemente industrializados (PARI), incrementaron de manera significativa su gasto en I+D (Cuadro 3). Contrasta esta situación con lo ocurrido durante el mismo período en Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México y Venezuela, los países de mayor producción científica de América

Latina (ver Gráfico 3). De igual manera, se aprecia que como resultado de las políticas de formación de recursos humanos para I+D, los PARI presentaban para 1990 un número de investigadores por millón de habitantes varias veces superior al de los seis países de América Latina antes mencionados (Gráfico 4). Estas importantes diferencias en los indicadores de gasto y recursos humanos dedicados a I+D que muestran los dos grupos de países tienen su origen en los distintos papeles que cada uno de ellos le asigna a la ciencia y la tecnología en sus procesos de desarrollo.

En lo que respecta a la producción científica, medida por el número de publicaciones en revistas de circulación internacional, encontramos niveles similares en los dos grupos de países (Cuadro 3). Sin embargo, cuando se relacionan estas cifras a las poblaciones totales apreciamos que Singapur y Taipei China presentan valores varias veces más altos que los otros países (Gráfico 5).

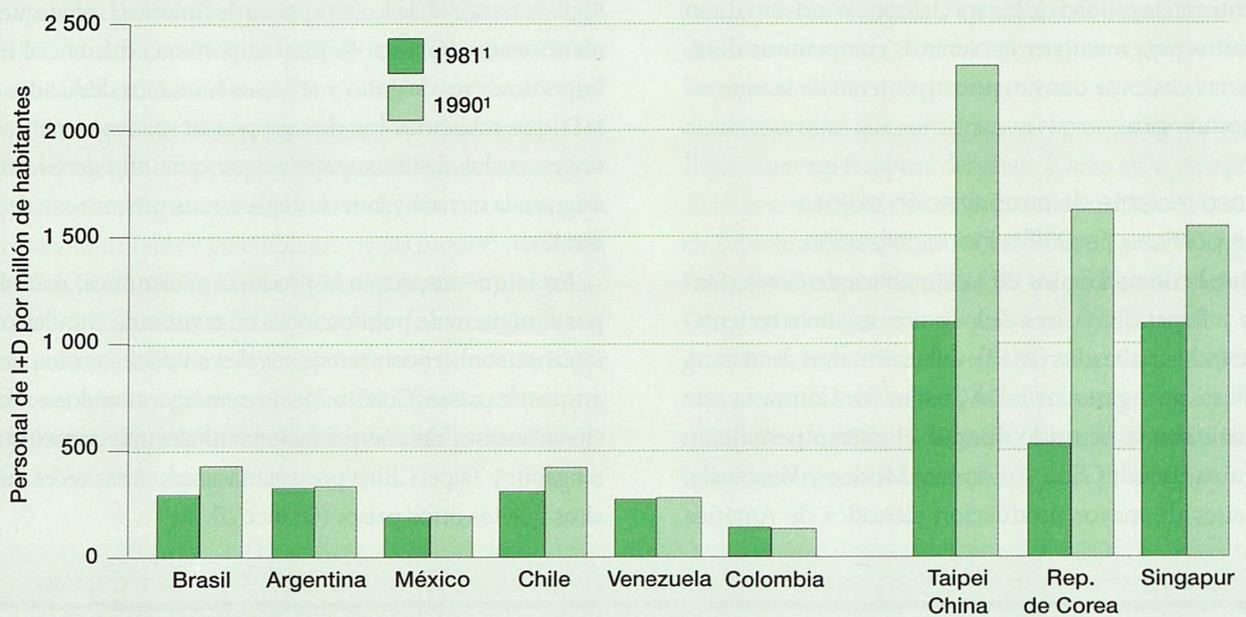
CUADRO 3
GASTO Y PERSONAL EN I+D, PUBLICACIONES CIENTÍFICAS Y CRECIMIENTO EN PAÍSES SELECCIONADOS DE AMÉRICA LATINA Y DE ASIA

	Gasto I+D como % del PIB		Personal I+D por millón de habitantes		Publicaciones científicas			PIB Tasa media de crecimiento anual (%)		PIB per cápita en miles de US\$		
	1981 ¹	1990 ¹	1981 ¹	1990 ¹	1988	1990	1993	1965-80	1980-91	1970 ¹	1980 ¹	1990
Argentina	0,77 (81)	0,80 (92)	337	352 (88)	2 000	1 952	2 193	3,4	-0,4	1 020	1 970	2 400
Brasil	0,44	0,66	298 (83)	432	2 590	2 973	4 043	9,0	2,5	450	2 060	2 680
Colombia	0,10 (82)	0,60	139	138	-	188	194	5,7	3,7	340	1 190	1 260
Chile	0,44	0,55	320	422	1 500	1 098	1 231	1,9	3,6	840	2 100	1 940
México	0,43	0,30	194 (84)	260 (91)	1 250	1 350	2 062	6,5	1,2	820	2 320	2 490
Venezuela	0,35 (84)	0,37	279 (83)	284 (89)	510	424	667	3,7	1,5	1 260	4 070	2 560
Corea, Rep. de	0,64 (81)	1,91	535	1 628	1 227	1 780	2 839	9,9	9,6	270	1 620	5 400
Singapur	0,30 (81)	1,10	1 096	1 546	653	843	1 033	10,0	6,6	950	4 550	11 160
Taipei												
China	0,93 (81)	1,65	1 101	2 303	2 001	2 861	4 318	-	-	446 (65)	3.594 (85)	4.355

1. Año preciso de los datos entre paréntesis.

Fuentes: ACAL, 1994; ISI, 1988, 1990, 1993; MCT, CNPq e IBICT, 1994; UNESCO, 1993 y 1994; Banco Mundial, 1992 y 1993.

GRÁFICO 4
PERSONAL DE I+D POR MILLÓN DE HABITANTES PARA PAÍSES SELECCIONADOS
DE AMÉRICA LATINA Y ASIA. 1981 Y 1990



1. O el año más cercano disponible.

Fuentes: ACAL (1994); UNESCO (1993).

Observando los indicadores de desarrollo científico y económico presentados en el Cuadro 3, resultaría tentador afirmar que un aumento de la inversión en I+D y una población de investigadores más alta conduciría a un mayor crecimiento económico. Sin embargo, es conveniente advertir que si bien la dotación de una infraestructura de I+D fue determinante para elevar la productividad de los PARI, otros factores también incidieron en el éxito de la estrategia de desarrollo. Entre ellos encontramos el incremento progresivo de las exportaciones de manufacturas de alto valor agregado, la adopción de programas económicos de estabilización acompañados de la implementación de políticas de liberalización y devaluación monetaria; el desarrollo de la demanda doméstica (Lipietz, 1985; Bustelo *et al.*, 1992); la adopción de un patrón productivo-comercial que hace uso intensivo de capital humano y tecnología y descansa en un modelo de intercambios intraindustriales (Won Choi, 1993);

la reubicación en terceros países de la base industrial de aquellos segmentos de productos en los cuales pierde ventajas comparativas y paralelamente en el desarrollo de nuevas industrias para la exportación de productos de mayor valor agregado y alto contenido tecnológico. Esta estrategia de globalización y regionalización espacial que se observa en Asia se logró mediante las inversiones extranjeras directas (IED) realizadas por las empresas transnacionales.

El éxito de la estrategia de desarrollo adoptada por los PARI, claramente demostrado en las altas tasas de crecimiento de los PIB durante los períodos 1965-80 y 1980-90 y en el extraordinario incremento de los ingresos per cápita entre 1970 y 1990 (Cuadro 3), contrasta con el aparente bajo impacto que el sector C&T ha tenido en el desarrollo económico de los países de América Latina durante el mismo período. El bajo impacto parece estar asociado a la exigua capacidad intramuros de I+D en las empresas y

a la escasa comunicación entre el sector C&T y el sector productivo. En efecto, a diferencia de la mayoría de los países de América Latina, los PARI conciben sus políticas de C&T en función de la identificación de las necesidades de los mercados y en la estrecha vinculación del personal de I+D a los procesos de innovación. Uno de los principales objetivos de los gobiernos de los PARI ha sido precisamente la creación de una capacidad endógena de C&T orientada a fortalecer la producción industrial para dar respuesta a las demandas de los mercados internacionales (Okamura y Henry, 1993).

Otra de las causas del éxito en la aplicación de la estrategia de desarrollo basada en la ciencia y la tecnología adoptada por los PARI es el papel desempeñado por el Estado tanto en el suministro de los recursos financieros

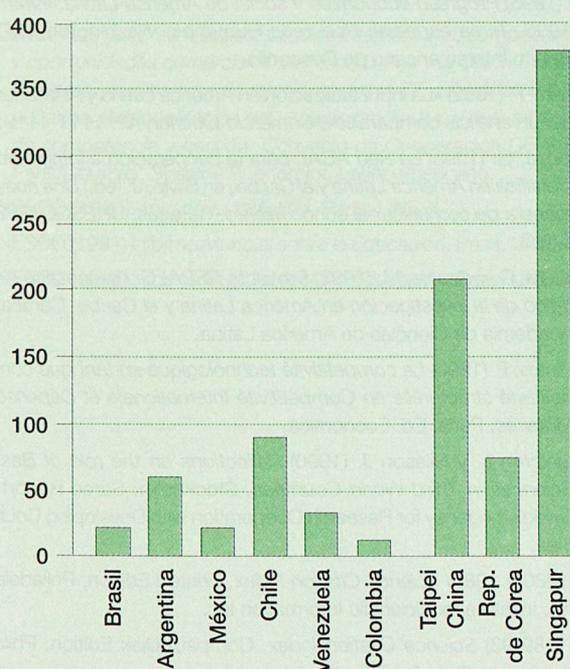
necesarios para mantener los programas de investigación, especialmente en altas tecnologías y en ciencias básicas, como en su contribución a la definición de las áreas prioritarias de investigación y en la constitución de redes institucionales de cooperación en C&T orientadas a fortalecer los procesos de innovación.

El caso de la República de Corea ilustra el papel crucial que desempeñó el Estado en la adopción de un modelo de desarrollo económico orientado a la exportación de manufacturas. Al respecto Orozco (1992) recuerda que por una parte «desde el establecimiento del Ministerio de Ciencia y Tecnología en Corea en el decenio de los sesenta, la política en la materia se ha orientado a promover la incorporación y difusión del progreso técnico en el sector productivo y en la nación en su conjunto» y por otra «el Ministerio de Educación comprendió perfectamente que el camino para que la transferencia de tecnología derivara en la generación de una tecnología propia se encontraba en la formación de técnicos, científicos e ingenieros».

Los gobiernos de los PARI también desempeñaron un papel determinante en el proceso de creación de las divisiones de I+D en las empresas a través de la adopción de políticas de estímulo basadas en subsidios, extensiones de impuestos, promoción de asociaciones estratégicas con empresas transnacionales en áreas de alta tecnología y apoyo a la formación de los recursos humanos para I+D. Hubo también un importante aumento de las inversiones en I+D que realizan las empresas privadas de los PARI, situación contrastante con la insignificante contribución del sector privado de América Latina a las labores de I+D (Cardoza y Azuaje, 1992). Los logros en productividad y competitividad alcanzados por las empresas de los PARI se explican precisamente por la rápida incorporación del progreso técnico en sus procesos y productos industriales.

Otra conclusión que se desprende de las experiencias exitosas de los PARI es que la adopción de un modelo de desarrollo industrial basado en la ciencia y la tecnología sólo podrá alcanzarse si se dispone además de un calificado grupo de gerentes que comprenda la importancia de dotar a nuestras industrias de una capacidad endógena de I+D y que se comprometa con la implementación de dicho

GRÁFICO 5
PUBLICACIONES CIENTÍFICAS POR MILLÓN DE HABITANTES PARA PAÍSES SELECCIONADOS DE AMÉRICA LATINA Y ASIA, 1993



Fuentes: SCI (1993); UNESCO (1994).

modelo. Así mismo, el proceso seguido por los PARI muestra que para diseñar e implementar las estrategias de desarrollo industrial que reclaman los países de la región es necesaria la participación concertada de los sectores involucrados en los procesos de innovación. Sólo una estructura sinérgica de este tipo permitió a los PARI superar los determinantes internos y externos del atraso y modificar exitosamente su patrón de inserción en el comercio internacional.

Como lo anotan Amable y Boyer (1991) se necesita de políticas que favorezcan la creación de círculos virtuosos basados en la imitación, el aprendizaje, la innovación y la competitividad, para lo cual se requiere un contexto económico estable que ofrezca mano de obra calificada, información sobre los mercados y fuentes de financiamiento adecuadas, especialmente para las pequeñas y medianas empresas. La política tecnológica debe entenderse como un medio de actuar sobre las determinantes de largo plazo del crecimiento económico, para lo cual debe estar en concordancia con las otras esferas de la vida económica y social.

En síntesis, se puede afirmar que el éxito registrado en las economías asiáticas se debe en gran parte al soporte que prestó el sector C&T a los procesos de diversificación, modernización industrial y conquista de mercados para las manufacturas con alto contenido tecnológico. Como se señaló al inicio de este capítulo, consideraciones similares pueden hacerse para otros sectores con un alto componente de C&T, tales como salud, agricultura, ambiente y energía. Es necesario resaltar que la contribución del sector C&T al desarrollo de los países asiáticos fue posible gracias a la convicción de la sociedad en general sobre la importancia que este sector representa y a la aplicación de un enfoque pragmático por parte de los gobiernos en la integración de las políticas de C&T a las demás políticas de desarrollo nacional.

CONCLUSIÓN

La situación actual de América Latina y las consideraciones hechas a través de este capítulo nos conducen a proponer la adopción de un modelo de desarrollo de base científica y tecnológica para los países de la región. Un

modelo que permita ampliar la cobertura de los derechos sociales de la población, superar el estancamiento económico y mejorar la inserción internacional de los países de América Latina. El diseño y la implementación de las estrategias de desarrollo que reclaman los países de la región demandan la participación concertada de los gobiernos, del sector C&T, del sector productivo y de otros sectores sociales. A esta tarea debe otorgársele la máxima prioridad en los planes de desarrollo de los países de América Latina en los años venideros, al acercarnos al próximo milenio.

BIBLIOGRAFÍA

- ACAL (1990-1994) Base de Datos: *Directorio de Instituciones Científicas de América Latina y del Caribe*, Caracas, Academia de Ciencias de América Latina.
- Amable B. y Boyer R. (1991) *L'Europe dans la compétition technologique mondiale: Quelques enjeux et propositions*. París, CEPREMAP.
- Banco Mundial (1993) *Informe sobre el desarrollo mundial 1993: invertir en salud del desarrollo*, Washington D.C., World Bank.
- BID (1992) *Progreso económico y social de América Latina. Informe 1992. Tema especial: Exportación de Manufacturas*. Washington, D.C., Banco Interamericano de Desarrollo.
- BID (1993) *Progreso económico y social de América Latina. Informe 1993. Tema especial: Recursos Humanos*. Washington, D.C., Banco Interamericano de Desarrollo.
- Bustelo, P. (1992) «La industrialización en América Latina y Asia Oriental: un análisis comparado», *Comercio Exterior*, 42: 1111-1119.
- Cardoza, G. (1993) *La Red ACAL para la cooperación e integración científica en América Latina y el Caribe*, en Silvio, J. (ed.) *Una nueva manera de comunicar el conocimiento*, Caracas, UNESCO/CRE-SALC.
- Cardoza, G. y Azuaje, M. (1992) *Proyecto REDALC: Diagnóstico sintético de la investigación en América Latina y el Caribe*. Caracas, Academia de Ciencias de América Latina.
- Chesnais, F. (1990) *La compétitivité technologique en tant que compétitivité structurelle en Compétitivité Internationale et Dépenses Militaires*, París, Ed. Economica.
- Hasselgren L. y Nilsson J. (1990) *Reflections on the role of Basic Sciences in Third World Countries*, Stockholm, Sarec Report - Swedish Agency for Research Cooperation with Developing Countries.
- ISI (1980 y 1985) *Science Citation Index*, Printed Edition, Philadelphia, Institute for Scientific Information Inc.
- ISI (1989-93) *Science Citation Index*, Compact Disk Edition, Philadelphia, Institute for Scientific Information, Inc.
- Krauskopf, M. (1995) «La escasa capacidad científico-tecnológica en América Latina exige fortalecer la cooperación intrarregio-

- nal», en Villegas, R. y Cardoza, G. (eds.) *La Cooperación para el Desarrollo Científico de América Latina*, Foro ACAL, Caracas, 1993, Venezuela, Academia de Ciencias de América Latina.
- Lipietz, A. (1985) *Mirages et miracles: Problèmes de l'industrialisation dans le Tiers Monde*, París, Editions La Découverte.
- MCT, CNPq y IBICT (1994). *Relatorio Estadístico 1993*. Coordenação de Estadísticas e Indicadores de C&T, Brasília: COOE.
- OCDE (1987) *Evaluation of Research*. París, Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos.
- OCDE (1991) *Choosing Priorities in Science and Technology*, París, Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos.
- OCDE (1992) *Technology and Economy. The Key Relationships. The Technology /Economy Programme*, París, Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos.
- Okamura, S. y Henry R. (1993) «El Japón y los Nuevos Países Industrializados», París, UNESCO Publishing; Madrid, Santillana, en *Informe Mundial sobre la Ciencia*.
- Oro L. A. y Sebastián J. (eds) (1992) *Los Sistemas de Ciencia y Tecnología en Iberoamérica*. Colección Impactos, Madrid, Fundesco.
- Orozco, C. E. (1992) «Ciencia, tecnología y recursos humanos en la industrialización de Corea del Sur», *Comercio Exterior*, vol. 42, núm. 12.
- Papon P. y Barré R. (1993) «Instituciones», en *Informe Mundial sobre la Ciencia*, París, UNESCO Publishing; Madrid, Santillana.
- Pavitt K. (1993) «Ciencias Básicas e Innovación», en *Informe Mundial sobre la Ciencia 1993*, París, UNESCO Publishing; Madrid, Santillana.
- Quenan, C. et al. (1994) *Especialización internacional, competitividad y oportunidades comerciales: América Latina y la Unión Europea. Proyecto: La dinámica de relación entre la CE y América Latina y el Caribe. Regionalización del espacio productivo y nuevas formas de competencia y gestión*, Convenio de Cooperación CE-SELA, París/Caracas, Sistema Económico Latinoamericano.
- UNESCO (1984) *Anuario Estadístico*, París, UNESCO.
- UNESCO (1991) *Informe Mundial sobre la Educación*. París, UNESCO.
- UNESCO (1993) *Informe Mundial sobre la Educación*. París, UNESCO.
- UNESCO (1994) *Anuario Estadístico*, París, UNESCO.
- UNESCO (1994) *Meeting of Experts on the Improvement of the Coverage, Reliability, Concepts, Definitions and Classifications in the Field of Science and Technology Statistics*, Division of Statistics, París, UNESCO.
- UNESCO (1995) *Documento de Política para el Cambio y el Desarrollo en la Educación Superior*, París, UNESCO.
- Villegas, R. y Cardoza, G. (1987) *Evaluation of scientific development and south-south cooperation in science and technology in Latin America and the Caribbean*, p. 422-30, en Faruqi A.M. y Hassan M. H. A (eds.) *The Future of Science in China and the Third World*, Peking, World Scientific Publishing Co.
- Villegas, R. y Cardoza, G. (1991) *La investigación en ciencia y tecnología en las universidades, centros de investigación y de estudios avanzados de América Latina: El papel de la integración regional*, en *Retos Científicos y Tecnológicos, Reunión Internacional de Reflexión sobre los Nuevos Roles de la Educación Superior a Nivel Mundial: El Caso de América Latina y el Caribe, Futuro y Escenarios Deseables*, 3: 62-73, Caracas, UNESCO/CRESALC.
- Villegas, R. y Cardoza, G. (1993) «América Latina», en *Informe Mundial sobre la Ciencia 1993*, París, UNESCO Publishing; Madrid, Santillana.
- Villegas, R. y Cardoza, G. (1995) «La situación de la ciencia en América Latina», en Villegas, R. y Cardoza, G. (eds.) *La Cooperación para el Desarrollo Científico de América Latina*, Foro ACAL, Caracas, 1993, Venezuela, Academia de Ciencias de América Latina.
- Won Choi, D. (1993) «La Cuenca del Pacífico y América Latina», *Revista de la CEPAL* 49: 21-40.
- World Bank (1991a) *World Development Report 1991*. The Challenge of Development. Nueva York, Oxford University Press.
- World Bank (1991b) *World Development Indicators 1991b*, Nueva York, Oxford University Press.
- World Bank (1992a) *World Development Indicators 1992*. STARS 2.5, Computer Edition, Nueva York, World Bank.
- World Bank (1992b) *World Tables 1992*. STARS 2.5, Computer Edition, Nueva York, World Bank.

Guillermo Cardoza es Profesor de Economía Internacional y Desarrollo Tecnológico en la Universidad Central de Venezuela y Director Ejecutivo de la Academia de Ciencias de América Latina (ACAL). Es editor de la publicación periódica *Ciencia en América Latina* y miembro del Consejo de la International Network for the Availability of Scientific Publications.

El Dr. Cardoza se graduó de ingeniero químico de la Universidad Nacional de Colombia y trabajó algunos años en la industria. Más tarde obtuvo el grado de Doctor en Economía & Desarrollo de la Université de Paris III - Sorbonne Nouvelle en Francia. En 1991 creó el Centro de Información y Estudio de la Ciencia de América Latina en la sede de ACAL, del cual es Director y donde realiza investigación sobre la ciencia en América Latina.

Raimundo Villegas es Canciller de la Academia de Ciencias de América Latina (ACAL) y Profesor del Instituto Internacional de Estudios Avanzados (IDEA) en Caracas, Venezuela. Se graduó de Doctor en Ciencias Médicas de la Universidad Central de Venezuela y ha sido Investigador Asociado de Vanderbilt University y Harvard Medical School, Profesor Invitado de Cornell University y Científico Visitante en el Dana-Farber Cancer Institute en los Estados Unidos.

En Venezuela, el Profesor Villegas desempeñó los cargos de Director del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Presidente del IDEA y Ministro de Ciencia y Tecnología. Ha sido miembro del International Council of Scientific Unions (ICSU), de la International Union of Pure and Applied Biophysics, del ICSU Committee on S&T for Developing Countries (COSTED) y del Panamerican Health Organization Research Committee. En la actualidad es miembro del Regional Committee of Latin América Scientific Networks of ICSU-COSTED/IBN y del American Association for the Advancement of Science Western Hemisphere Initiative Steering Committee.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a los Profesores H. Croxatto, Presidente de ACAL; W. Jaffé, Vice-Presidente de CONICIT; A. Leone, Sistema Económico Latinoamericano (SELA); C. Quenan, Université de la Sorbonne Nouvelle, y G. M. Villegas, Instituto Internacional de Estudios Avanzados (IDEA) por la lectura crítica del manuscrito, y a E. Martín Del Campo, UNESCO-ORCYT, y J. Allende, Universidad de Chile por la valiosa información que suministraron sobre cooperación científica en América Latina.

Europa Occidental

ROS HERMAN

Una curiosa mezcla de tradiciones culturales, religiosas y seculares crearon en Europa un medio fértil, aunque no siempre aquiescente, para las nuevas ideas, su desarrollo y ejecución. Durante 400 años este jardín agreste ha ido evolucionando y recibiendo las aportaciones de otras tradiciones, creando un suelo rico para la rápida expansión recientemente registrada de las posibilidades y del número de personas dedicadas a investigación y desarrollo (actualmente, uno de cada 250 trabajadores, con una aportación del 2 % del producto interno). El presente capítulo tratará sobre la situación de la ciencia en los 18 países miembros de la Unión Europea y de la Asociación Europea de Libre Cambio.

Los promedios no revelan las grandes variaciones que existen entre los diferentes países: en 1989 Suiza dedicó el 2,9 % de su PIB a investigación y desarrollo (I+D), cantidad aportada principalmente por la industria, mientras que en Grecia la cifra correspondiente fue del 0,5 %, en su mayor parte proveniente del erario público. En la mayoría de los países el porcentaje aumentó a principios del decenio de 1980, para decaer cuando la recesión se instaló a fines de dicho decenio, y aún no se había recobrado completamente al inicio de 1990. En términos generales, puede observarse una convergencia entre los países con mayor I+D—Alemania, Francia, Países Bajos, Reino Unido, Suecia y Suiza— y los países con menos I+D—España, Grecia, Irlanda y Portugal (Gráfico 1).

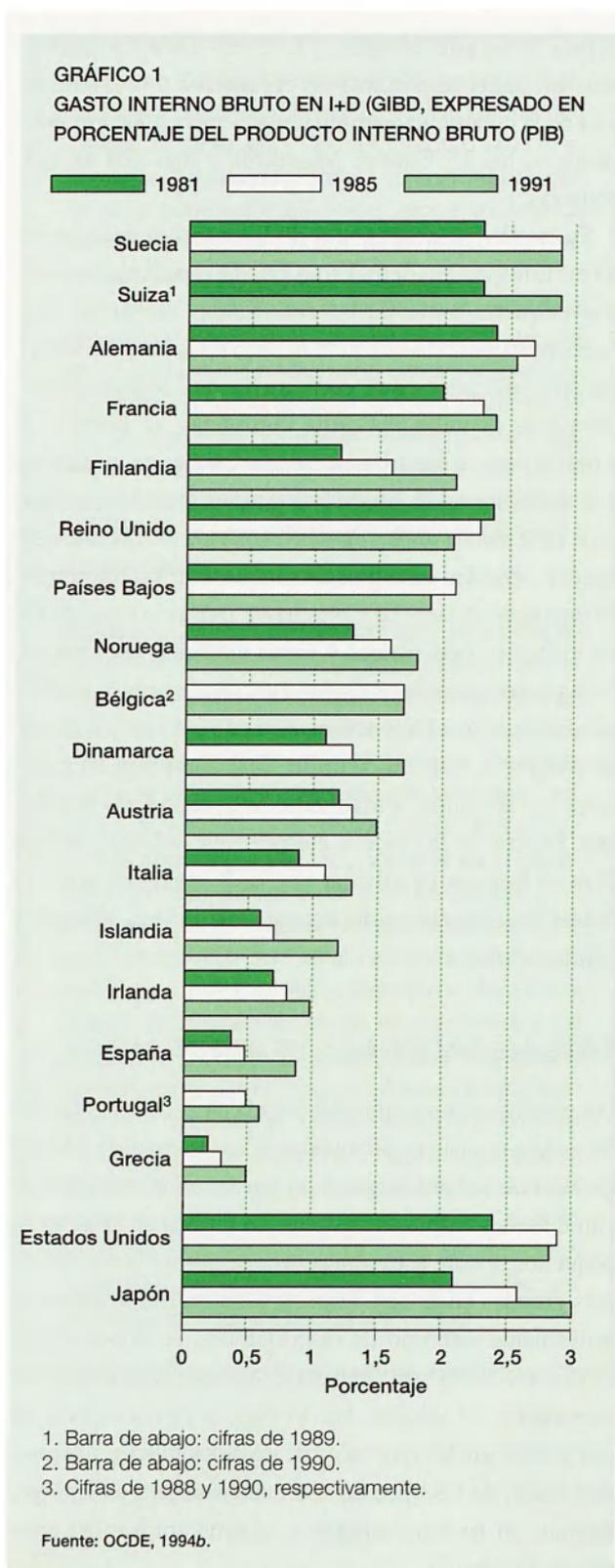
Aunque Europa ya no descolla en el campo de la ciencia, el papel de la investigación científica como medio para mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos está presente para explicar el gran apoyo que los gobiernos europeos siguen dando a la educación y la capacitación, a la investigación y el desarrollo, y al aumento de la difusión y la innovación. En promedio, la cantidad que aporta la industria es más o menos la misma, aunque su papel varía mucho de un país a otro. Cada vez más, este tipo de empeños son de interés internacional: muchos científicos colaboran por encima de las fronteras y algunos dependen, para realizar su labor, de instalaciones especializadas obtenidas gracias a la colaboración multilateral. Muchas empresas llevan a cabo tareas de I+D

en más de un país europeo, y la Unión Europea desempeña un papel importante en el fomento y la financiación de la colaboración en materia de investigación realizada en los 15 Estados miembros y más allá de sus fronteras.

En esta breve descripción de la situación de la ciencia en Europa Occidental sólo puedo esperar presentar una pequeña parte de las actividades en curso. Sin embargo, trataré de iniciar al neófito en la manera cómo las diversas partes que constituyen las comunidades científicas actuales, bastante complejas, se ponen de acuerdo para realizar las tareas que les son encomendadas. En esta región geográfica pequeña, en la que hay gran variedad de antecedentes históricos y culturales, se pueden observar ejemplos de muchas formas diferentes de organizar la ciencia. Comenzaré tratando algunos de los enfoques más típicos y luego analizaré las características más generales de la producción científica, la educación superior, el impacto económico y un nuevo modo de encarar la política científica que comienza a extenderse en la región. Finalmente, examinaré las fuerzas que, dentro de la ciencia, ejercen una presión unificadora en Europa, sin olvidar que la diversidad y la autonomía han caracterizado siempre a la ciencia dinámica e innovadora.

SISTEMAS NACIONALES DE INVESTIGACIÓN

Los marcos gubernamentales para la ciencia, en su mayoría, se impusieron recientemente a los sistemas de investigación que se habían generado gracias a los esfuerzos de particulares y empresas privadas. En Europa los países más pequeños se han visto obligados a seguir los pasos de los más grandes en lo que respecta a formalizar y fomentar activamente este tipo de disposiciones: en la actualidad estas estructuras son una parte significativa aunque no dominante del sistema. Por lo tanto serán la esencia de este debate inicial, en el que trataré de establecer una categorización de los tipos de sistemas existentes en Europa, basados en las más antiguas y mejores tradiciones existentes (Cuadro 1).



Los sistemas se agruparán en tres categorías distintas.

- Los países de la primera categoría invierten mucho en I+D y la industria desempeña una función primordial. Tienen un gobierno federal y la responsabilidad de I+D se comparte con ciertos niveles gubernamentales: el gobierno federal orienta la estrategia general y las regiones colaboran estrechamente con la industria local y las universidades sin menoscabar su autonomía. Alemania, Suiza y Bélgica entran dentro de esta categoría.
- Los países de la segunda categoría no establecen políticas detalladas. Sin embargo, el Estado desempeña una importante función en la financiación, especialmente mediante la investigación universitaria. Organismos como los consejos de investigación y las organizaciones de innovación actúan en calidad de mediadores de las prioridades establecidas a nivel central, dejando un margen de autonomía a los investigadores académicos. Entran en esta categoría el Reino Unido y los países nórdicos más pequeños.
- Los países de la tercera categoría provienen en general de sistemas de gobierno más centralizados y unificados que tradicionalmente planifican y organizan la educación, la investigación y sectores importantes de la actividad productiva. El Estado facilita tanto apoyo a la I+D como a la industria, y en algunos casos mucho más. De este grupo el país más importante es Francia. Italia y España son ejemplos menos extremos, y Grecia y Portugal cuentan con un nivel mucho menor de inversión.

El tamaño del país y la importancia dada a la I+D también afecta al modo de funcionamiento de los sistemas. En los países más pequeños los vínculos entre gobierno y universidades, institutos e industria son en general más simples, y las políticas necesariamente más selectivas, con el objeto de equiparar el trabajo con las posibilidades industriales e intelectuales y los medios financieros del país. También en estos casos los países que realizan menos inversiones en I+D tienen en general una orientación más académica y dependen ampliamente del apoyo gubernamental. No obstante, se espera que las

inversiones den frutos en términos de crecimiento económico. La Unión Europea se ha interesado especialmente en forjar la tecnología básica de los países más pobres mediante una mezcla sensata de apoyo para infraestructuras y la aportación de conocimientos científicos y tecnológicos.

Sistemas que cuentan con diversas fuentes complementarias para establecer las prioridades I+D y su financiación

Alemania es el prototipo de este pequeño grupo, país que una vez lograda su reunificación llegará casi inevitablemente a dominar Europa en el ámbito de las ciencias, y en otros también. Ya ha dado el ejemplo a Europa y al mundo con el desarrollo del principio de investigación y autonomía en su sistema educativo, y con la aplicación de la ciencia en las industrias modernas, a pesar de que su población activa juvenil cuenta con menos graduados en ciencias.

El sistema de investigación en Alemania es altamente diversificado y está concebido y coordinado de manera central, pero en su mayor parte está regido por el principio de la autonomía institucional. Por otro lado, tanto el Gobierno central como los regionales participan en la financiación de los institutos de investigación y las universidades. Una parte fundamental del sistema de investigación es el grupo de foros nacionales donde se debaten todas las políticas que lo afectan. Políticos, científicos e industriales se reúnen periódicamente en el Consejo Científico y en la Comisión del estado federal sobre planeamiento de la educación y la investigación para establecer políticas que luego podrán examinar todas las partes que al final tendrán que participar en las iniciativas y financiarlas, por ejemplo, los gobiernos central y regionales. El principio básico es asignar las labores de investigación por «subsidiariedad». De manera ideal, el trabajo debería ser llevado a cabo por la industria y si esto no es posible —como en el caso de la investigación fundamental— las universidades son el lugar indicado. Sólo debería establecerse un instituto especializado en casos de absoluta necesidad por razones de eficacia y logística, por ejemplo, si

se requiere un equipo muy particular. Existen no menos de cuatro redes de institutos de investigación: la Max Planck Gesellschaft (MPG, Sociedad Max Planck de investigación fundamental); la Fraunhofer-Gesellschaft (Sociedad Fraunhofer de investigación aplicada); la Asociación de centros nacionales de investigación (institutos creados sobre la base de grandes y/o costosas instalaciones de experimentación); y los laboratorios de la «lista azul» que realizan investigación fundamental asociada a las misiones de servicio público, tales como la salud y el bienestar social. Además, el Consejo nacional de investigación (Deutsche Forschungs-Gemeinschaft, (DFG, Sociedad alemana de investigación) cuenta con una generosa asignación. En los últimos años Alemania ha instaurado un «superministerio» de educación, ciencia, investigación y tecnología, rebautizado como «Ministerio del Futuro». Habida cuenta de que están respaldadas por laboratorios de gran magnitud y por la ayuda directa del Estado, las empresas invierten sumas importantes y de manera sistemática en investigación.

Las universidades se consideran un bastión de la investigación fundamental, aunque se sabe que no todos los estudiantes deben recibir una formación que los conduzca a ser investigadores, y que la concentración de los recursos, mediante la diferenciación y la especialización, es necesaria si se desea que la investigación universitaria sea competitiva en el plano internacional y no se quede atrás con respecto a los laboratorios bien financiados y equipados. Los gobiernos regionales son responsables de la planificación y el funcionamiento de sus universidades locales, y también incumbe a las regiones controlar que las instituciones locales contribuyan a fomentar el proceso de innovación, considerado como una serie de actividades interactivas y simultáneas que en cada etapa dependen generalmente de la ciencia fundamental y de la ingeniería científica.

La solidez del modelo alemán ha quedado demostrada en la medida en que Alemania ha integrado ampliamente el sistema científico de la antigua República Democrática Alemana. El Consejo Científico analizó las virtudes y los defectos de los recursos destinados a la ciencia y los pla-

nes que los diferentes institutos establecían para el futuro. El plan resultante recomendó que algunos institutos se incorporaran a las redes nacionales y que otros se adaptaran para facilitar esta tarea. Las instituciones no viables, entre ellas la Academia de Ciencias de la RDA, han sido reemplazadas por varias instituciones regionales.

Como Suiza está muy descentralizada políticamente, el gobierno federal interviene sólo de manera limitada en las políticas de ciencia y tecnología. En general la industria, mediante su gran participación en el gasto en ciencia, domina la actividad de I+D, quizá más aún que en cualquier otro país de Europa, y tanto es así que en Suiza se registra el mayor número de solicitudes de patente por habitante. Sin embargo, la preocupación del gobierno por el fracaso de la industria en mantenerse al nivel de las tecnologías más recientes ha generado algunas actividades nacionales para promover las I+D en ámbitos específicos, así como iniciativas con respecto a la formación profesional superior y en investigación.

Mientras que la financiación de las universidades depende sobre todo de los cantones, dos institutos técnicos federales y varios organismos de investigación están directamente financiados y ampliamente controlados por el gobierno federal. El «Fonds national pour la recherche scientifique» (Fundación Nacional de Investigaciones Científicas), el principal organismo proveedor de fondos, recibe casi todo su dinero del gobierno federal, que también establece las orientaciones generales para su utilización.

Desde el pasado decenio Bélgica forma parte de los países europeos declarados oficialmente estados federales y en la actualidad el gobierno federal, las comunidades y las regiones comparten la responsabilidad en materia de I+D.

En los países de este grupo la industria gasta en I+D más del doble que el sector estatal.

Sistemas nacionales predominantes y control central limitado

El Reino Unido es el ejemplo más importante de este tipo de sistema. Los fondos gubernamentales para la ciencia provienen del gobierno central a través de una amplia gama

de organismos y ministerios. La financiación de la «base científica» se efectúa mediante consejos de investigación que mantienen una cierta coordinación pero que están cada vez más orientados hacia una misión especial, y por medio de los fondos globales para las universidades y de las fundaciones privadas y la Unión Europea. La mayor parte de la investigación fundamental se realiza en las universidades, que tienen bastante margen para planificar su propio trabajo sin interferencias exteriores. Por otra parte, las restricciones económicas que sufre este tipo de financiación obligan a esas instituciones a depender más de fondos para la investigación asignados con objetivos específicos a corto y a mediano plazo.

El sistema muestra una escisión neta entre la investigación orientada hacia una misión específica, que es responsabilidad de ciertos departamentos gubernamentales, y la investigación orientada hacia el saber puro, que ha sido en gran parte dominio de las universidades. Los gastos en la investigación orientada hacia una misión específica están principalmente cubiertos por el Ministerio de Defensa, que mantiene su propia red de laboratorios y también financia de manera sustancial I+D en las industrias que fabrican armas y otros equipos altamente técnicos para las fuerzas armadas. En los últimos años estos gastos han disminuido, puesto que la defensa ya no se considera la gran prioridad nacional.

En el pasado, los ministerios encargados de la industria efectuaron inversiones importantes para financiar la investigación en la industria civil, ya sea de manera directa o participando en las llamadas asociaciones de investigación cuyo objetivo era brindar investigación de apoyo a industrias de distinta índole. Durante los últimos 15 años el gobierno ha ido reduciendo estos desembolsos, considerando que no corresponde al erario público financiar la investigación «ligada al mercado». Por lo tanto, la financiación directa de la investigación industrial ha disminuido. Además, en el transcurso del decenio de 1980 disminuyó el número de laboratorios que respaldaban la industria manufacturera y la agricultura, y en el de 1990 muchos han sido o están a punto de ser privatizados. Lo mismo sucede con gran parte de la investigación en el sector de la defensa

CUADRO 1
CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE INVESTIGACIÓN EN TRES GRUPOS DE PAÍSES, 1991

Gastos en I+D de los países de la OCDE (%)	Gastos brutos en I+D (GBID)/PIB				Proporción de gastos brutos en I+D		
	>2 %	1,5-2,0 %	1,0-1,5 %	<1 %	Gastos en I+D de la industria (%)	I+D realizada en la industria (%)	Gastos del Estado en I+D para defensa (%)
Categoría A							
10,1	Alemania				61,4	69,0	3,9
1,2	Suiza				74,5 ¹	74,8 ¹	5,3
0,8		Bélgica			64,8	66,5	0,6
Categoría B							
5,4	Reino Unido				49,3	63,9	16,0
1,4		Países Bajos			51,2	53,2	1,6
1,2	Suecia				60,5	68,2	9,6
0,6			Austria		50,3	58,6 ¹	0,0
0,5	Finlandia				56,3	57,0	0,5
0,4		Dinamarca			51,4	58,5	0,2
0,4		Noruega			44,5	54,6	2,8
0,1			Irlanda		59,4	62,0	0,0
Categoría C							
7,1	Francia				42,5	61,5	17,6
3,7			Italia		47,8	58,5	3,7
1,2				España	48,1	56,0	7,7
0,2				Portugal	27,0 ²	26,1 ²	4,9
0,1				Grecia	21,7	26,1	0,8

1. 1989.

2. 1990.

Fuente: OCDE, 1994a ; OCDE, 1994b.

—que sostiene una industria de exportación importante, por ejemplo, la aeroespacial—. Es así que las prioridades para este tipo de investigación, en los casos en que continúa, están fijadas cada vez más por los imperativos del mercado y no por el gobierno central. Aunque en Gran Bretaña no hay ningún ministerio que se ocupe de la investigación, la Oficina de Ciencia y Tecnología recientemente creada, que forma parte de la Oficina del Servicio Público y la Ciencia, centra los esfuerzos del gobierno para influir

sobre la ciencia en su totalidad. Los países nórdicos, pequeños pero con grandes ambiciones tecnológicas, en particular los de Escandinavia, que también tienen sus propios grupos de investigación, operan de esta manera. Dichos países dependen de la industria y de la alta tecnología para asegurar gran parte de su producto interno bruto y cuentan con una larga tradición científica innovadora. La línea común de sus políticas actuales es adaptar y fortalecer su base de conocimientos mediante el fomento de sus uni-

versidades, por ejemplo, dando impulso a los colegios universitarios que conceden gran importancia a la investigación. Al mismo tiempo, los gobiernos identifican las virtudes y defectos existentes en los ámbitos relacionados con su potencia industrial, con objeto de encaminar los fondos que aseguren una expansión eficaz dentro del amplio espectro que va de la investigación fundamental a la aplicada y la innovación. Finlandia, y en especial Suecia, son los países que proporcionalmente gastan más en I+D: la contribución de los Países Bajos ha disminuido en los últimos años, y Dinamarca y Noruega la han aumentado y se encuentran en el mismo nivel. La contribución austriaca también está en alza pero sigue siendo inferior. Irlanda se encuentra aún muy atrasada a la zaga de este grupo. Por ello no es sorprendente que estos dos últimos países compartan un problema de fuga de cerebros: los ciudadanos altamente especializados que no encuentran oportunidades en su país natal se sienten atraídos por los países donde existe una mayor demanda de sus capacidades.

En todos estos países, el total de I+D llevado a cabo por la industria es de una a dos veces el que realiza el sector estatal.

Sistemas de I+D más centralizados, dirigidos por el Estado

En los países del Mediterráneo la actividad y los logros académicos son respetados por sí mismos y por considerarse una contribución a la cultura nacional, las aspiraciones individuales y la realización personal. La actividad de investigación, en especial en ciencia e ingeniería, se lleva a cabo en los institutos especializados, a menudo planificados, organizados y financiados por el gobierno central, y en el sistema universitario, y se encuentra bajo la tutela del ministerio de educación superior e investigación. El importante papel que desempeña el gobierno en la dirección y el control de las infraestructuras y economías nacionales también ha hecho que gran parte de la investigación aplicada se realice por el Estado y bajo su control mediante sus industrias nacionalizadas.

El esfuerzo del país en materia de investigación se centra en una sola organización financiada por el Estado y

que aglutina una amplia red de laboratorios de investigación. Por lo tanto, los investigadores son en su mayoría empleados de esa organización. Francia es el ejemplo más cabal de este modelo, con su «Centre national de la recherche scientifique» (CNRS, el Centro Nacional de Investigación Científica). El CNRS abarca todas las materias, desde la astrofísica a las humanidades, y es el principal portavoz de la ciencia en el país. Esto lo convierte en el centro nacional de la ciencia. Existen algunos laboratorios de investigación independientes, pero la mayoría de centros están en las universidades, aunque muy pocos miembros del personal del CNRS se dedican a la enseñanza. Las universidades pueden solicitar el establecimiento de un centro en sus instalaciones.

Hasta no hace mucho la región parisiense contaba con un número desproporcionado de laboratorios del CNRS, pero en la actualidad se está produciendo un cambio en favor de otras regiones. Las autoridades regionales son actualmente una importante fuente de financiación en apoyo de políticas específicas para sus zonas que pueden tener como objetivo el establecimiento de laboratorios CNRS, con miras a estimular las inversiones de la industria. La administración del CNRS ha sido descentralizada para favorecer este tipo de relaciones. Cada uno de los siete grupos especializados existentes también tiene su política regional, que extiende su labor para crear centros de alta calidad en cada región. Existen también varias organizaciones que se ocupan de la ciencia en áreas específicas: espacio, salud, etc.

En el futuro, las universidades tendrán un papel descolante en la investigación, por lo que el Estado desea mejorar la movilidad entre las universidades y los institutos especializados, que deberán incorporar a jóvenes investigadores para reemplazar a la generación que se jubilará en el próximo decenio. Tanto los institutos de investigación como las universidades tendrán que buscar oportunidades para colaborar con los organismos exteriores: la industria y los gobiernos locales, regionales y nacionales. Recientemente se ha dado participación a la industria en la fijación de prioridades para la ciencia a nivel nacional, y habrá un plan nacional anual para la ciencia en el que se debatirán los objetivos y los logros alcanzados.

Italia también tiene su red de institutos de investigación, pertenecientes al «Consiglio Nazionale delle Ricerche» (CNR, Consejo Nacional de Investigación) en el cual el Estado dirige la investigación sobre las materias elegidas en el ámbito de la ciencia fundamental y la salud; recientemente, la red de investigación estatal sobre la energía (Ente per le Nuove Technologie, l'Energia e l'Ambiente, ENEA) ha extendido sus funciones y su denominación para cubrir tanto las nuevas tecnologías como el medio ambiente, y desde no hace mucho existe asimismo una organización que se ocupa de la investigación espacial. Italia, como Francia, tiene un ministerio que se encarga de la educación superior y la investigación: define prioridades y supervisa y financia la investigación realizada por el sector público y parte de la investigación industrial. Un fondo reservado para la investigación aplicada permite una amplia gama de opciones, entre ellas el apoyo a la investigación fundamental en la industria, los programas nacionales de investigación de tecnologías estratégicas, y la labor preliminar para la colaboración y evaluación internacional.

Considerada en conjunto, la aportación de las universidades a la investigación es casi comparable a la de los institutos oficiales. También están bajo el control estatal y se han incorporado a las redes del Estado para la investigación que se encuentran bajo la jurisdicción del Ministerio de Universidades e Investigación Científica y Tecnológica. Un plan de fomento de tres años de duración ha agregado nuevas universidades al sistema para paliar su congestión, y el Estado incrementará también la capacitación en investigación y la autonomía universitaria.

España ha aumentado rápidamente sus gastos en I+D durante los años ochenta. Cuenta con un plan nacional de I+D que promueve la capacitación de personal para la investigación, la iniciación de programas de investigación y la financiación de una infraestructura científica y técnica. Una comisión interministerial de ciencia y tecnología establece y ejecuta el plan, y varias organizaciones promueven sus objetivos y evalúan su ejecución. Una vez más, los laboratorios oficiales y las universidades están casi igualados, y la industria desempeña un papel cada vez más importante en la escena nacional.

Grecia y Portugal carecen de redes de institutos de investigación y por lo tanto la I+D se concentra en sus sistemas universitarios. Se diferencian de los países nórdicos más pequeños en que el Estado tendrá que desempeñar una función primordial en el fomento de la industrialización y la expansión hasta que las industrias resultantes estén preparadas para tomar la iniciativa de la investigación y fijar sus prioridades.

En Francia, España e Italia, la I+D realizada por la industria representa entre una y dos veces la que lleva a cabo el sector estatal. En cambio, en Grecia y Portugal la industria sólo representa un tercio de la ejecutada por el Estado.

PUNTOS EN COMÚN Y TRANSFORMACIONES EN CURSO

Estos sistemas han evolucionado ampliamente desde la Segunda Guerra Mundial: sus similitudes y diferencias surgen de la interacción de una política cultural esencialmente nacional con el mundo de la ciencia, creado en parte por el patrimonio cultural científico de la nación pero también fuertemente influido por la índole de la labor científica internacional. Dichos sistemas representan los intentos de cada gobierno por asumir la responsabilidad de promover la ciencia mediante la aportación de fondos suficientes, y por orientarlos para que produzcan una ciencia que satisfaga las necesidades del Estado.

Medición de los resultados

Es importante recordar que en Europa los sistemas presentados como nuevos no son más que una capa reciente que se ha agregado a las sociedades y a los sistemas creados por los filósofos de la naturaleza desde el siglo XVII, a menudo con apoyo escaso o irregular de los sectores privado y público. En este tipo de contexto se sentaron los fundamentos de la revolución científica y se formularon y consolidaron los logros de la revolución industrial. Aunque el dominio de Europa en el mundo de la ciencia ha disminuido en la medida en que otros países, en particular los Estados Unidos, han tomado la delantera, teniendo

CUADRO 2
PREMIOS NOBEL OTORGADOS EN CIENCIAS NATURALES (FÍSICA, QUÍMICA Y FISIOLÓGIA O MEDICINA),
POR NACIONALIDADES

País	Premios Nobel otorgados			Población actual (millones)	Índice de éxito (número de premios obtenidos entre 1963 y 1993 por cada 10 millones de habitantes)
	1901-1931	1932-1962	1963-1993		
Alemania	26,00	8,00	8,16	78,27	1,04
Austria	3,00	2,50	0,33	7,62	0,43
Bélgica	1,00	1,00	1,67	9,88	1,69
Dinamarca	4,00	0,50	0,33	5,13	0,64
España	0,50	0,00	0,00	38,81	0,00
Finlandia	0,00	1,00	0,00	4,96	0,00
Francia	11,00	1,00	5,16	56,16	0,91
Grecia	0,00	0,00	0,00	9,98	0,00
Irlanda	0,00	0,00	0,00	3,52	0,00
Islandia	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00
Italia	1,00	2,00	1,75	57,48	0,30
Luxemburgo	0,00	0,00	0,00	0,37	0,00
Noruega	0,00	0,00	0,50	4,22	1,18
Países Bajos	4,00	1,00	0,50	14,88	0,34
Portugal	0,00	0,50	0,00	10,47	0,00
Reino Unido	12,50	15,83	11,50	57,21	2,01
Suecia	5,50	2,00	2,33	8,50	2,71
Suiza	3,50	3,00	3,33	6,58	5,06
Estados Unidos	2,50	31,50	49,33	249,93	1,97
Japón	0,00	0,00	1,00	123,12	0,08

en cuenta su población y su peso económico, los países de Europa todavía tienen una fuerza más que proporcional en el mundo de la ciencia.

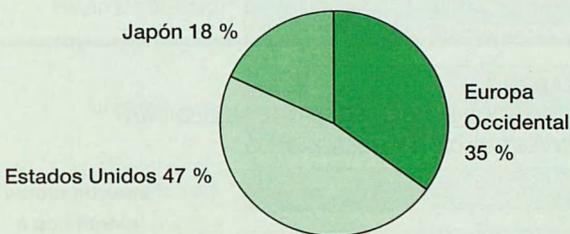
Las personas que se ocupan de investigación fundamental apuntan alto: su ambición es lograr grandes adelantos de la ciencia que invaliden teorías anteriores, demostrar resultados imposibles actualmente, o encontrar soluciones originales a problemas que otros no han podido resolver. Los logros más descolantes son premiados. Por ejemplo, todos los años se otorgan tres premios Nobel de ciencia, y como los científicos sobresalientes que los obtienen son de todas las partes del mundo, dichos premios permiten medir el nivel científico alcanzado por un país en materia de ciencia

fundamental (Cuadro 2). Hasta principios del decenio de 1950, los científicos alemanes y británicos recibieron la mayoría de los premios; luego Estados Unidos tomó la delantera y la mantuvo desde entonces. El Reino Unido y Alemania rivalizan ahora por el segundo puesto, Francia, Suecia y los Países Bajos vienen después, por delante de la antigua URSS y el Japón. En lo que se refiere a los premios recibidos en los últimos años, Estados Unidos está muy por encima de cualquier otro país; de hecho, hay muy pocos premios que no estén compartidos con algún científico estadounidense. Alemania dominaba la escena europea antes de la Segunda Guerra Mundial, pero el Reino Unido ocupó este lugar a partir de entonces, aunque en un grado menor.

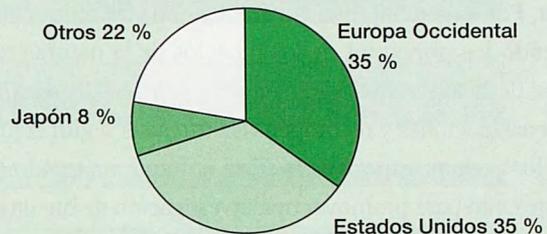
GRÁFICO 2
RESULTADO DE LA ACTIVIDAD CIENTÍFICA Y TÉCNICA POR GRUPOS DE PAÍSES, 1993

PIB (mil millones de ECU, 1992)	Europa Occidental	4 108
	Estados Unidos	4 240
	Japón	1 590

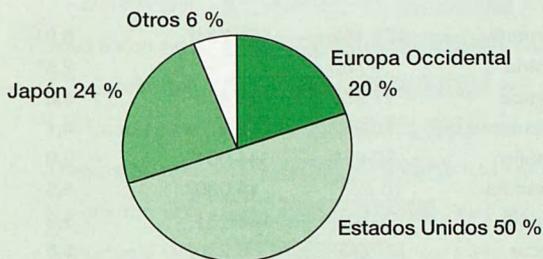
Nivel relativo del gasto general en I+D (porcentaje del total de gastos en I+D en los tres grupos)



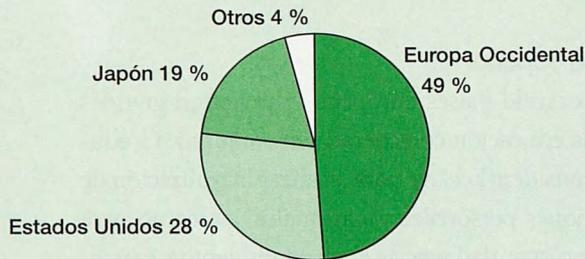
Participación en las publicaciones científicas mundiales (porcentaje del total mundial)



Participación en las patentes de los Estados Unidos (%)



Participación en las patentes europeas (%)



Fuente: Comisión Europea, 1994.

En términos cuantitativos, los resultados de la ciencia pueden evaluarse y compararse usando diferentes criterios de medición. En el Gráfico 2, de participación en la publicación y las patentes mundiales, se comparan con el nivel de producto interno bruto y la participación en la inversión científica. Los resultados confirman la idea que se tiene de Europa como región altamente desarrollada desde el punto de vista científico, pero que consigue mejores resultados en la producción científica que en la obtención de patentes. Las diferencias empero no son muy grandes, excepto en el caso del Japón, cuya contri-

bución en materia de textos científicos es relativamente modesta. Sin embargo, se debe prestar atención cuando se interpretan los datos bibliométricos, que presentan mayoritariamente un sesgo en favor de las publicaciones en inglés.

El cuadro muestra que Europa Occidental y Estados Unidos están equilibrados en términos generales con respecto a las publicaciones científicas y al producto interno bruto. No obstante, gasta bastante más Estados Unidos en I+D para obtener ese resultado: en cambio, sus logros en materia de patentes son mayores. Japón gasta un porcen-

taje relativamente algo mayor de su producto interno bruto en I+D, y aunque sus publicaciones científicas están a la zaga sus resultados en materia de patentes son buenos, ya que obtiene en Estados Unidos más patentes que toda Europa.

Los gobiernos de Europa Occidental, aconsejados por los encargados de formular las políticas de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), han fomentado la investigación científica y la educación superior. Por lo general, han consolidado los sistemas manteniendo los principios de los filósofos de la naturaleza: la idea de la autonomía de los investigadores, acompañada por asignaciones y recompensas otorgadas según el juicio de los propios especialistas. Este enfoque ha tenido bastante éxito para promover una investigación de buena calidad y establecer un claustro de profesores dispuestos a enseñar al número creciente de jóvenes que se matriculan en la educación superior.

Educación superior

En la mayoría de países europeos se invierten grandes sumas en la educación considerada en conjunto. La educación se considera la clave para alcanzar la realización de las aspiraciones personales y nacionales, así como para generar la prosperidad gracias al mantenimiento y expansión de una población activa calificada y el aumento del número de ciudadanos capacitados, responsables y reflexivos. Sin embargo, la proporción de población activa joven (edades comprendidas entre 25 y 34 años) con educación universitaria, que varía entre el 17 % de España y el 5 % de Portugal en 1991, y el 11 y el 15 % de los países, más grandes, es mucho más baja que en Estados Unidos, donde alcanza el 24 %. En la Comunidad Europea la proporción de científicos e ingenieros dedicados a la investigación representó por término medio el 4,3 ‰ de la población activa en 1991. Alemania (5,9) y Francia (5,2) se encuentran ligeramente por delante del Reino Unido. Compárense estas cifras con el 7,6 ‰ de los Estados Unidos y el 9,2 ‰ del Japón. Así, Europa está retrasada en lo que se refiere a la difusión general de los conocimientos científicos entre la población activa, lo que es particular-

mente inquietante habida cuenta de que se ha descubierto una relación directa entre el nivel de educación logrado y las posibilidades de obtener empleo: algunos sugieren que una de las claves para vencer los altos niveles de desempleo en Europa es dar a los jóvenes mayores oportunidades de capacitación y estudio.

Aun así, en Europa, la educación superior se ha extendido rápidamente desde la Segunda Guerra Mundial y el crecimiento ha generado a pesar de todo sus propios pro-

CUADRO 3
CIENTÍFICOS E INGENIEROS QUE SE DEDICAN
A INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

País	Cifras absolutas (1989)	Cifras absolutas (1993)	Investigadores científicos e ingenieros por cada mil trabajadores (1991)
Alemania	176 401	181 794 ²	5,9 ⁵
Austria	8 782	—	2,5 ⁵
Bélgica	17 583	18 465 ²	4,3
Dinamarca	10 962	12 970	4,1
España	32 811	41 901	2,6
Finlandia	10 593 ¹	14 030 ³	5,5
Francia	120 430	138 434	5,2
Grecia	5 299	6 230 ³	1,5
Irlanda	4 165	5 965	4,0
Islandia	685	720	4,8
Italia	76 074	72 968	3,1
Noruega	12 156	14 424	6,3
Países Bajos	26 680	26 680	4,0 ⁵
Portugal	5 456	5 908 ²	1,2 ²
Reino Unido	134 000	123 000 ⁴	4,5
Suecia	25 585	27 445	5,9
Suiza	14 250	—	5,2 ⁴
Estados Unidos	949 300	887 600	7,6 ⁵
Japón	457 522	518 659	9,2

1. 1987.

2. 1990.

3. 1991.

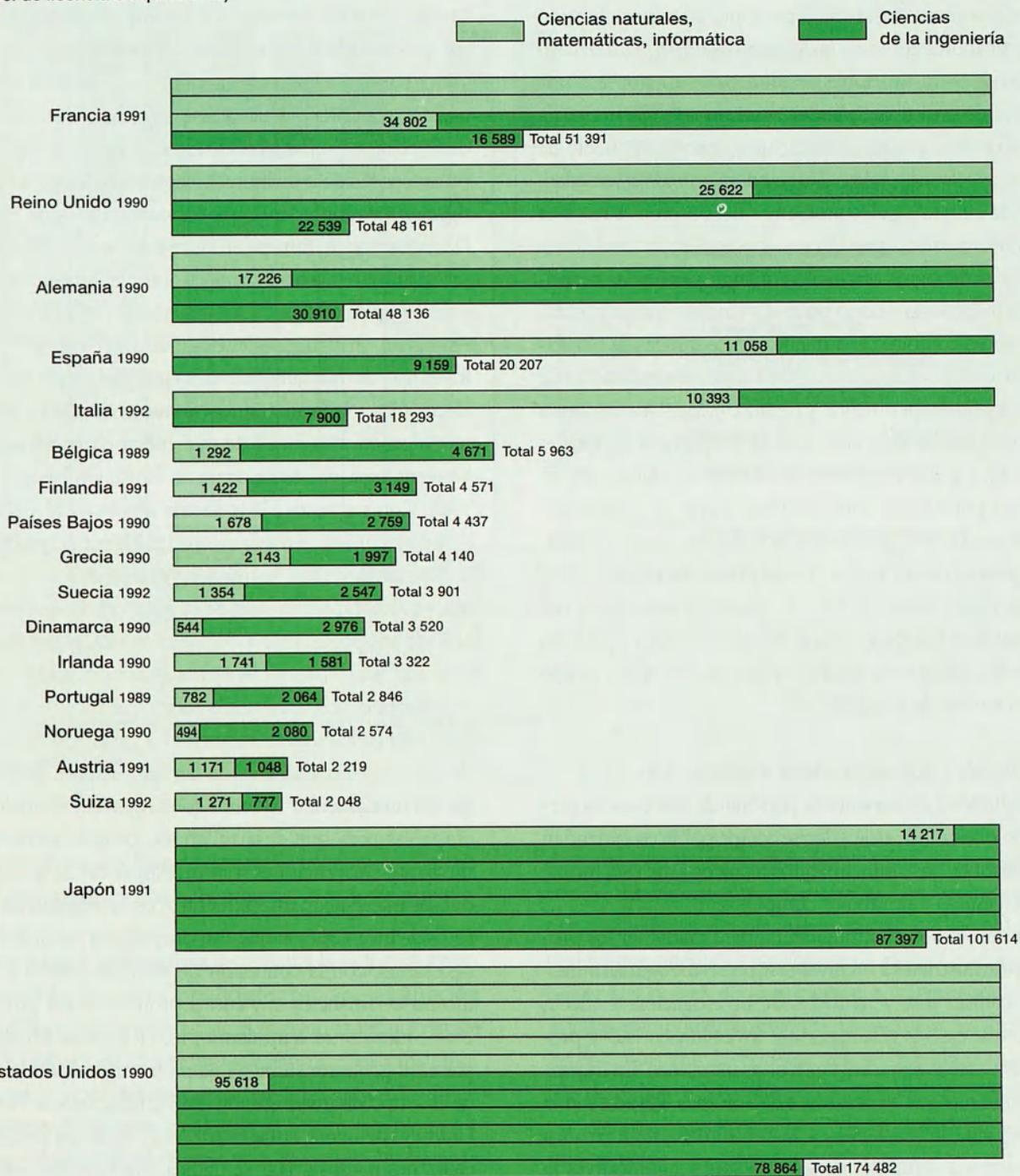
4. 1992.

5. 1989.

— Datos no disponibles.

Fuente: Comisión Europea, 1994 ; OCDE, 1994a, vol. 2.

GRÁFICO 3
GRADUADOS EN CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA
 (nivel de licencia o equivalente)



Fuente: UNESCO, 1994.

blemas. Este incremento raramente ha ido acompañado de un despliegue equivalente de medios económicos, sobre todo en los últimos años, y en muchos países los profesores universitarios han sufrido presiones tanto en su función de educadores como en la de investigadores. Aún se confía en que las instituciones de educación superior sean una reserva de creatividad, becas, autonomía, independencia y objetividad que pueda crear una importante fuente de análisis y reflexión sobre el funcionamiento de la sociedad. Uno de los principales problemas del decenio es resolver el conflicto entre la presión para desarrollar las tradiciones europeas de logros académicos a largo plazo y las necesidades imperiosas a corto plazo. La tendencia de la política reciente es combinar el aumento de los índices de participación con medidas que aseguren la efectiva realización de investigaciones pertinentes y de alta calidad. Una respuesta generalizada ha sido aumentar la proporción de fondos dedicados a la investigación en las universidades, que se asignan por medios competitivos a través de organismos externos como el gobierno y la industria. Además, algunos países como Francia, Países Bajos, Dinamarca, Finlandia y Suiza están reformando el sistema universitario en su totalidad, y se preocupan especialmente en mejorar las posibilidades de investigación y capacitación en este campo en los niveles de posgrado.

Desarrollo y aplicación de la investigación

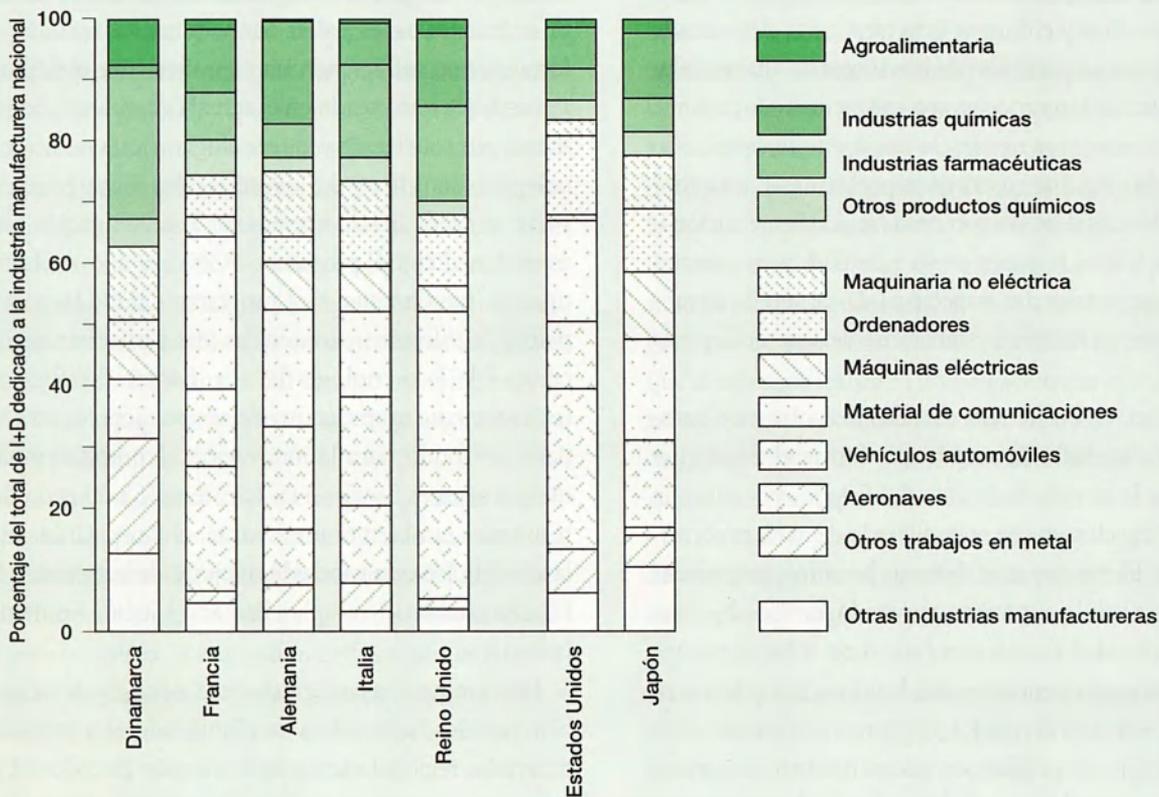
La posibilidad de disponer de personal de esta clase ha permitido que la industria y los servicios públicos extiendan y desarrollen sus conocimientos técnicos y, de esta forma, creen técnicas y productos complejos.

La innovación es fundamental para mantener los productos industriales a un nivel competitivo. Algunas industrias realizan más actividades de investigación, es decir, que en su caso la relación entre inversión en I+D y producción es más elevada que en otras industrias. En Europa las industrias que tienen una relación más elevada son la aeroespacial, la farmacéutica, la electrónica, la informática y la química. También tienen relaciones significativas la industria automotriz, la de maquinaria eléctrica y la de instrumentos. Si la comparamos con la de sus competi-

dores de los Estados Unidos y el Japón, la producción europea se centra en tres de estos rubros: la industria química, la farmacéutica y la de vehículos automóviles. Muchas de estas empresas son importantes multinacionales: producen e incluso llevan a cabo investigaciones en varios países. De esta manera pueden aprovechar la investigación realizada prácticamente en todas partes, aun fuera de Europa: por ejemplo, ha sido más fácil aprovechar los progresos técnicos en biotecnología logrados por la investigación estadounidense que los conseguidos en Europa. De todos modos, Europa produce menos que esos dos países en ámbitos claves de la electrónica, el proceso de datos y el equipo de oficinas, y su situación se está deteriorando. Asimismo, en algunas esferas la industria ha llevado a cabo investigación fundamental: dos ejemplos son la industria electrónica y la farmacéutica; la nueva ciencia de la ingeniería genética es difícil de diferenciar de su derivada, la biotecnología, en términos de investigación básica y aplicada. Con respecto a la industria aeroespacial y a la del equipo científico, Europa ocupa un lugar intermedio.

En gran parte la investigación y el desarrollo en la industria —que comprende más de la mitad de la inversión en I+D de los países más avanzados tecnológicamente— se basa en los resultados científicos generados a menudo en el sector público, y en algunos países (Alemania es la excepción más destacada) la industria ha trabajado en general de manera independiente de las instituciones de investigación fundamental. Muchos gobiernos han alentado a las empresas para que desarrollen sus propias tecnologías: mediante subvenciones a la investigación de productos que les interesaban directamente; con la creación de institutos de investigación que disponen de los conocimientos necesarios; con la concesión de ventajas fiscales y otros incentivos financieros; y con la promoción del intercambio de ideas entre la industria y los científicos. En algunos países el gobierno sufraga una parte importante del costo de este tipo de investigación: en Francia, Suecia, el Reino Unido y Alemania, entre el 20 y el 30 % de los fondos oficiales destinados a I+D se dedica a la industria, en gran medida al sector de la defensa. Además, la mayoría de los gobiernos europeos dedican entre el 20 y el 30 % de sus

GRÁFICO 4
PARTICIPACIÓN DE DIFERENTES SECTORES NACIONALES EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA, 1990



Nota: Sólo se tienen en cuenta los grupos y subgrupos más significativos.

Fuente: OCDE, 1994a.

recursos civiles a planes de desarrollo económico. Austria y Bélgica gastan menos e Irlanda casi la mitad a este respecto.

Una actitud reciente es la de invitar a la industria a participar en la fijación de prioridades para la investigación en el sector público, en especial cuando la reducción de fondos obliga a establecer una selección entre las materias. Casi todos los países europeos han analizado, o están en el proceso de hacerlo, cuál será su futuro tecnológico y cómo el Estado puede sostener su desarrollo. A menudo esto significa contar con grupos de expertos que pongan en relación las áreas interesantes de la investigación fun-

damental con las oportunidades tecnológicas que los nuevos descubrimientos podrían ofrecer. Los resultados ayudan a las empresas a planear su propio trabajo al mismo tiempo que orientan a los gobiernos, que así pueden establecer sus planes de financiación e infraestructura con miras a influir dinámicamente en las actividades de I+D de las empresas grandes y pequeñas, en particular en términos de trabajo a largo plazo y trabajo «en los márgenes», por ejemplo, aquellos que no emprenderían salvo si hay una participación del sector público.

Hemos visto que estos esfuerzos, a pesar de haber costado una parte importante del PIB, no han logrado man-

tener a las industrias europeas en situación competitiva. En particular, Europa tiene un problema de productividad: el producto por empleado a tiempo completo es bastante menor que en el Japón y menos de la mitad que en los Estados Unidos. Aunque Europa tiene una parte de mercado razonable en la exportación de productos de alta tecnología, sus mercados internos no son coherentes o lo bastante fuertes para mantener niveles de empleo suficientes de su mano de obra. Luchar contra estos problemas es una prioridad fundamental de los gobiernos regionales y nacionales, y de la Unión Europea en su totalidad, y las soluciones gubernamentales con respecto a I+D, tal como veremos más adelante, no tienden a establecerse de acuerdo con esta premisa.

Asimismo, en las últimas décadas los gobiernos europeos han concebido de una nueva forma el papel que desempeña la ciencia en la vida del Estado, y la filosofía de su participación en ella se ha alterado de manera correspondiente. El cambio más drástico ha sido comprender que ya no es válido suponer que para lograr los objetivos de competitividad económica basta con suministrar los fondos suficientes para respaldar la educación y la investigación. Es necesario que los gobiernos examinen todos los aspectos de las políticas en que participan, con miras a superar estos problemas, inclusive la relación de la ciencia con el Estado y con la nación en su totalidad.

Las nuevas políticas con respecto a la ciencia

Se ha verificado un cambio importante en la función del Estado, que de protagonista principal del proceso de innovación tecnológica ha pasado a coordinarlo, posibilitarlo y promoverlo. Ahora, además de ocuparse sólo de las primeras etapas, es decir, la investigación fundamental, el Estado considera que la transferencia de tecnología forma parte de sus atribuciones. No sólo apoya financieramente estos esfuerzos, sino que también da su opinión sobre los aspectos organizativos, institucionales y culturales de las prácticas tecnológicas. En lugar de ser sólo una parte de la política económica, la I+D se ha convertido en un tema independiente de la política estrechamente relacionado con otros ámbitos de la política.

La nueva orientación ha provocado cambios en la estructura del gobierno mismo, tal como se ha visto anteriormente; también ha originado medidas específicas y ha afectado a las políticas regionales de desarrollo. Prácticamente todos los países adoptan nuevas medidas para fortalecer su infraestructura científica: por ejemplo, los Países Bajos han creado en el actual decenio un programa marco para la ciencia y la tecnología, y una nueva red de colegios científicos de investigación. Portugal, por su parte, se ha dedicado a apuntalar la investigación fundamental mediante el programa PRAXIS de apoyo a la investigación fundamental y el programa CIENCIA para respaldar la infraestructura en las áreas prioritarias. En el campo de la tecnología básica, España ha finalizado recientemente un programa de acción tecnológica e Italia tiene un fondo para la innovación tecnológica y otorga desgravaciones fiscales a las empresas. La difusión de los resultados también es importante: el Reino Unido apoya la labor de asesoría y todas las mejoras de la gestión, y también ha establecido un plan llamado «Senior Academic in Industry».

Un enfoque más integrado de la ciencia y de su aplicación práctica ha llevado a los planificadores a estimular el desarrollo regional mediante la creación de redes de contactos y especialidades concretas. Estas iniciativas surgen espontáneamente cuando los gobiernos locales ya desempeñan un papel importante en la financiación de I+D, por ejemplo, en Alemania y Suiza. En países como el Reino Unido, España, Francia e Italia, donde las regiones tienen poderes considerables pero cuya contribución a la ciencia y la tecnología es aún relativamente modesta, también se han lanzado políticas regionales para responder a los desequilibrios en materia de riqueza y empleo, basándose asimismo en la potencialidad de la industria y el sector académico locales. Incluso los países que no cuentan con estructuras de política regional han considerado estas soluciones: por ejemplo, Grecia ha establecido parques de tecnología en Atenas, Patrás, Salónica y Heraklion y tiene previsto fomentar la expansión de centros regionales de investigación e innovación que actúen como imanes en El Pireo, Macedonia y Tracia.

Aunque atacada de distintas formas por varios componentes de la sociedad, tanto intelectuales como antiintelectuales, la ciencia sigue siendo en su mayor parte una fuente de conocimiento del mundo fidedigna y objetiva. Por ejemplo, todavía se acepta ampliamente que el progreso de la ciencia es esencial para mejorar la salud y la calidad de vida en general, y que seguirá ofreciendo oportunidades de crecimiento económico y de satisfacción de las necesidades y aspiraciones humanas. No obstante, la ciencia y sus aplicaciones ya no se admiten sin críticas. Una característica creciente de la participación del Estado en la ciencia se relaciona con lo que los alemanes llaman «investigación preventiva», labor que tiene en cuenta los efectos sociales y medioambientales del cambio tecnológico, y la aceptación o comprensión de la ciencia y sus frutos por parte del público.

Es así que todos los Estados europeos analizan minuciosamente los programas de desarrollo relacionados con los objetivos socioeconómicos de importancia fundamental; la promoción de la aceptación de la ciencia y la tecnología por el público; la evaluación de los aspectos éticos y sociales de los desarrollos tecnológicos; y la mejora de los mecanismos y métodos de control de los programas.

Evolución y convergencia de políticas

Tanto si el gasto en I+D está planificado centralmente como si no lo está, es posible desglosarlo en diferentes áreas temáticas. Este análisis permite a los observadores formarse una impresión de las prioridades generales que el país establece en términos de los objetivos de la investigación y el desarrollo. Por ejemplo, en los últimos años muchos países europeos han acentuado su empeño en el progreso de los conocimientos mediante la investigación fundamental, al mismo tiempo que han reducido sus gastos en investigación de la productividad industrial y producción de tecnologías, y aún más radicalmente en el campo de la energía. Los gastos en los objetivos de defensa, que corresponden a proporciones sustanciales de I+D en el Reino Unido y Francia, tienen menos prioridad, aunque todavía representan el 20 % de la financiación oficial total en I+D de la Unión Europea; otra parte sustancial y cre-

ciente va a la industria espacial. La investigación en el área de la salud, el medio ambiente y las estructuras y relaciones sociales también ha aumentado.

Los sistemas nacionales de ciencia están cambiando bajo la influencia de estos dos tipos de presión: alentar el crecimiento y utilizar la ciencia con fines mundiales y sociales de manera públicamente aceptable. Hasta este momento las instituciones de investigación no han modificado fundamentalmente la estructura que tenían desde la posguerra: un cambio de esta magnitud podría llevar decenios más que años. Sin embargo, se han producido modificaciones sustanciales en el modo que tiene el gobierno de tratar las ciencias, y también en la manera en que la industria realiza su investigación científica. En general se da más importancia a los resultados, el rendimiento del dinero invertido y la responsabilidad. Se están agregando nuevas etapas de evaluación y revisión a los sistemas de control por parte de los propios colegas, con el fin de introducir criterios externos en la valoración de la investigación, y se incluyen análisis de las repercusiones industriales y/o públicas de los resultados. Estos esfuerzos han estimulado la aparición de innovaciones apasionantes en la enseñanza y la investigación, pero también han originado reacciones violentas en los casos en que la autonomía, el nivel y el alcance de la labor orientada hacia el conocimiento teórico han estado amenazados.

LABOR CONJUNTA

Ya he señalado la convergencia de los enfoques europeos de la investigación y el desarrollo. Circunstancias similares producen tendencias similares, pero la labor conjunta, tanto mediante la colaboración transnacional como dentro del marco de corporaciones multinacionales, también produce efectos. Existe una tendencia creciente de los investigadores de los distintos países a aunar esfuerzos. Esto ocurre en todos los países científicamente activos, pero es más probable que los científicos de los países europeos publiquen en colaboración con los ciudadanos de otros países que sus colegas de Estados Unidos y el Japón. La colaboración se genera a partir de acuerdos multilaterales y bilaterales de

distintas clases, a menudo apoyados por el gobierno o por becas de viaje y donaciones para la adquisición de equipo.

La tradición según la cual los científicos de los diferentes países deben encontrarse y compartir sus resultados y conocimientos es tan antigua como la ciencia misma y a partir del siglo XIX se ha institucionalizado cada vez más gracias a las reuniones internacionales. Un ejemplo destacado lo constituyen las conferencias Solvay, en las que los científicos nucleares se reunieron a principios del siglo XX. La idea de trabajar juntos es más reciente, y sólo se ha podido desarrollar de manera sistemática gracias a la rapidez de los transportes y la revolución de las comunicaciones. La mayor especialización de la ciencia y los costos y el nivel del equipo que se requiere para realizar un trabajo novedoso han obligado a los científicos a combinar así su labor. Los años de posguerra registraron un gran optimismo con respecto a la ciencia, que se sumó a la tendencia hacia el entendimiento mutuo entre las naciones: se hizo posible así iniciar proyectos multinacionales ambiciosos, como la Organización Europea de Investigaciones Nucleares (CERN). Otras organizaciones trataron de establecer laboratorios centralizados de gran magnitud para proseguir su trabajo: cabe citar como ejemplos el Laboratorio Europeo de Biología Molecular (European Molecular Biology Laboratory), el Observatorio Europeo Austral (European Southern Observatory) y el Centro Común de Investigación de la Comunidad Europea. Estos proyectos reflejaban otros apenas menos importantes que se realizaban a escala nacional para que los científicos pudieran mantener la delantera. Surgieron proyectos multilaterales dirigidos hacia objetivos más optimistas que la promoción de la investigación fundamental, entre ellos la Agencia Espacial Europea (ESA) y varios proyectos aeroespaciales y de defensa. Se ha estimado que estos gastos conjuntos representan alrededor del 3 % del gasto en I+D en Europa.

No obstante, estas empresas se llevan a cabo cuando los países pueden ponerse de acuerdo sobre su necesidad: la European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) de Grenoble, Francia, es un ejemplo reciente en Europa. Este caso científico y técnico se debatió en la Fundación Europea para la Ciencia (ESF), que desde su fundación en 1974

ha servido de foro donde pueden reunirse los representantes de 56 organismos de financiación de los Estados miembros, establecer colaboraciones y debatir sobre las cuestiones relativas a los cambios en la ciencia y la mejor manera de fomentarlos. Una parte esencial de la función de la ESF, el foro paneuropeo de organizaciones nacionales que financian la investigación, consiste en resolver los nuevos problemas que crea la investigación europea. La ESF también aconsejó a la Comunidad Europea en cuestiones relacionadas con la ciencia fundamental y está representada en un nuevo organismo establecido por la Comisión Europea: la Asamblea Europea de Ciencia y Tecnología (European Science and Technology Assembly). La importancia reciente del contexto europeo para la ciencia se demuestra por la creación de varias organizaciones, entre ellas la Academia Europea, la Alianza de Academias Europeas (Alliance of European Academies) y la Asociación de Universidades Europeas (CRE).

Una de las preocupaciones se refiere evidentemente a las instalaciones científicas, que son demasiado caras para proporcionarlas a cada grupo que quiere trabajar en ellas, debido a lo cual, a nivel supranacional, nacional y aun regional, los investigadores comparten los equipos con otros científicos de diversas instituciones. Aun en el caso de equipo ligeramente más barato, el resultado de la lucha por la obtención de fondos puede determinar si un determinado grupo podrá utilizar las instalaciones que lo mantendrán al tanto de los últimos avances, o será excluido de estos progresos.

Pero en la actualidad los lineamientos impuestos por la escasez de fondos para la ciencia provocan una gran renuencia a establecer asociaciones que demandan inversiones masivas de capital e inmensos costos de funcionamiento. También se ha demostrado que los grandes laboratorios establecidos con financiaciones generosas, que gozan de gran libertad, a menudo experimentan dificultades para mantenerse en las nuevas tendencias y adaptarse a las nuevas ideas. Una solución que gana terreno en la actualidad es la promoción activa de la colaboración «virtual»: el trabajo se realiza en los países donde están radicados los diferentes grupos de científicos que participan

en un objetivo común y entre ellos se reparten las tareas necesarias para realizar el proyecto. Ésta es ahora la principal estrategia de colaboración que fomenta la Unión Europea.

La participación de la Unión Europea en la ciencia y la tecnología responde a las relaciones más estrechas que existen entre la ciencia y sus aplicaciones, tal como se señaló en las páginas precedentes. La Comunidad Económica Europea no tiene atribuciones para promocionar la ciencia por sí misma: sus planes de investigación tienen que estar dirigidos hacia el logro de ventajas económicas para la Comunidad, del mismo modo que el Centro Común de Investigación tiene que ayudar a los Estados miembros a utilizar la energía atómica. A finales del decenio de 1970 se hizo evidente que la preeminencia europea en el campo de las ciencias estaba siendo eclipsada por Estados Unidos y Japón y, además, los miembros estaban también perdiendo la batalla de los mercados y la tecnología: de ahí la necesidad de dar una dimensión europea a la investigación, las normas y el mercado. De estos imperativos surgieron programas marco, destinados a mejorar la colaboración en las esferas científicas con potencial para aumentar la competitividad económica. La Unión Europea financia la mitad del costo de los proyectos que realizar estos programas marco en áreas consideradas particularmente interesantes. Los investigadores, que pueden trabajar tanto en la industria como en el sector privado, deben presentar sus solicitudes en grupos que abarquen como mínimo dos Estados miembros y los proyectos se evalúan mediante un análisis por los especialistas en la materia y son controlados por la Comisión Europea. El costo de estas actividades representa más del 4 % de los desembolsos europeos en I+D.

En los años 1990 los programas marco también han sufrido las presiones ya mencionadas de los sistemas nacionales: mayor racionalización del proceso de innovación tecnológica, pero también tratamiento de cuestiones más amplias, como el medio ambiente y los problemas climáticos, regulación y aceptación de la tecnología, y desarrollo técnico de infraestructuras del transporte y la información. El Tratado de Maastricht también consideró que el

objetivo de cohesión social entre los Estados miembros y de coordinación de las políticas nacionales de investigación y desarrollo tecnológico formaba parte de las atribuciones de la Unión Europea.

Los estudios sobre el impacto de los programas marco en los Estados miembros muestran que los investigadores se benefician de esta colaboración al conseguir un mayor acceso a resultados y conocimientos complementarios, el fortalecimiento de los lazos europeos en materia de investigación y desarrollo tecnológico y financiación suplementaria. Se considera que estos programas marco han contribuido a crear un ambiente de colaboración más estable o, para decirlo de otra manera, a formar una verdadera «comunidad científica europea».

La idea de que la ciencia es una empresa común, en la que las naciones pueden tomar parte en términos de igualdad, también ha alimentado el crecimiento de organizaciones internacionales como el Consejo Internacional de Uniones Científicas (CIUC). El objetivo del aprovechamiento de la ciencia con fines más prácticos y a escala internacional orientó la evolución de, por ejemplo, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS). Más recientemente, el aumento de la complejidad y de los gastos de algunas empresas científicas ha estimulado la planificación de determinados proyectos a escala intercontinental, por ejemplo, el proyecto sobre el genoma humano y el proyecto de fusión. Europa desempeña su función en el debate de estos proyectos primordiales, por ejemplo, mediante el Foro Macrocienza de la OCDE.

CONCLUSIÓN

El «jardín agreste» de la ciencia que posee Europa es, como hemos visto, variado y dinámico. Varias fuerzas tienden a unir las comunidades científicas en una red de intereses y prioridades comunes, y los esfuerzos de cooperación ayudan a las comunidades científicas menos maduras a alcanzar el nivel requerido. Por otra parte, las industrias europeas sufren la presión constante de competir entre sí y con sus rivales no europeos por los mercados clave. Una fuerte

dependencia tradicional de la participación pública en la industria y la investigación puede retrasar la competitividad: los Estados se están esforzando actualmente para disminuir estas dependencias y la protección de los mercados. Los objetivos básicos de las políticas científicas son crear mejores perspectivas de empleo y minimizar los gastos estatales. A este respecto algunos países obtienen mejores resultados que otros, pero es evidente que Europa en su totalidad debe estar atenta para no permitir que los Estados Unidos, el Japón y Asia Sudoriental en general tomen la delantera en la aplicación de las nuevas ideas y tecnologías. A raíz del interés que despierta su labor, se presta más atención a los científicos europeos, a los que a menudo se les brinda más apoyo práctico. Por otra parte, deben garantizar que la investigación que realizan tenga consecuencias útiles y adecuadas para la sociedad o la empresa que la patrocina. El problema que tienen los investigadores actualmente es llegar a un equilibrio entre responder a las presiones a corto plazo y continuar su larga tradición de logros en la ciencia fundamental.

BIBLIOGRAFÍA

- Centro para la Investigación e Innovación en la Enseñanza. 1993. *Análisis del panorama educativo, los indicadores de la OCDE*. OCDE, París.
- Comisión de las Comunidades Europeas. 1993, Growth, competitiveness, employment: the challenges and ways forward into the 21 st century, *Boletín de las Comunidades Europeas*, Suplemento 6/93.
- Comisión Europea, 1994, *European Report on Science and Technology Indicators*, Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Luxemburgo.
- Foundation Scientific Europe. 1990. *Scientific Europe, Nature and Technology*, Maastricht.
- OCDE. 1994a. *Main Science and Technology Indicators*, París.
- OCDE. 1994b. *Science and Technology Policy: review and outlook in 1994*, París.
- UNESCO. 1994. *Anuario Estadístico*, París.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Dr. Wilhelm Krull de la Max-Planck-Gesellschaft (MPG) de Munich, así como a la Dirección de Ciencia, Tecnología e Industria de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) de París la información estadística suministrada.

Ros Herman es actualmente la directora europea de *Research Fortnight*. Trabajó durante nueve años como reportera y editora de la conocida revista científica *New Scientist*, en la especialidad de física, y posteriormente en la de política científica. Es una profesora experimentada que ha enseñado a nivel secundario, universitario y de posgrado. Durante tres años y medio estuvo al frente de la cátedra de ciencias de la comunicación del Imperial College de Londres. Su libro, *The European Scientific Community*, se publicó en 1986.

Este capítulo fue preparado y escrito en estrecha colaboración con el profesor Peter Fricker, secretario general de la Fundación Europea para la Ciencia.

Europa Central

ANTONI KUKLINSKI Y BOGDAN KACPRZYNSKI

La transformación de Europa Central¹ es un proceso histórico complejo de múltiples dimensiones. Podemos definir la transformación como un cambio estructural idóneo, cuyo objeto será la adquisición de una nueva identidad después de sucesivas fases de evolución. El interrogante que se plantea es si Europa Central será capaz de crear una imagen y una identidad nuevas para la primera década del siglo XXI, pero no se puede dar una respuesta global porque los países de la región se encuentran en etapas diferentes de su proceso de transformación. Algunos se hallan muy adelantados, otros acaban de emprender el difícil camino del cambio estructural, e incluso los hay que se muestran indecisos y se debaten entre el socialismo real y el genuino capitalismo del futuro. Ésta es la definición de la transformación en términos reales, o sea, mucho más cruda que las formulaciones elegantes que se refieren al desarrollo de la democracia parlamentaria y la economía en Europa Central.

LA TRANSFORMACIÓN DE LA CIENCIA

La transformación es un proceso holístico, cuyos éxitos y fracasos en una esfera determinada repercuten hondamente en los resultados de las demás. En consecuencia, la transformación de la ciencia ha de contemplarse dentro de esta perspectiva holística, aunque sea menester prestar especial atención a la relación que existe entre ella y la transformación de la economía, la sociedad y el Estado.

La transformación de la ciencia en Europa Central es el proceso de creación de un nuevo modelo de ciencia, lo cual implica forjar:

- una nueva personalidad del científico;
- nuevos esquemas de motivaciones y comportamiento en la comunidad científica;
- una nueva infraestructura institucional;
- un nuevo campo de aplicación y una nueva estructura de la demanda de ciencia (Kuklinsky, 1994).

Este nuevo modelo de ciencia exige resolver el dilema de que sea nacional y europeo a la vez. Debe ser nacional en el sentido de que ha de incorporarse profundamente a la tradición de la cultura nacional, así como a los sistemas de valores y esquemas de comportamiento de una sociedad determinada.

Es también importante la relación de este modelo con los desafíos que tenga planteados una economía determinada con respecto a la economía mundial. Dicho de otra manera: este modelo de ciencia debe operar dentro de un sistema eficaz para crear y difundir innovaciones en un país determinado (OCDE, 1992; Kacprzyński, 1994).

Este nuevo modelo de ciencia debe ser asimismo europeo, en el sentido de que ha de adaptarse con creatividad a las condiciones y parámetros predominantes en la Unión Europea.

LOS OBSTÁCULOS EN EL CAMINO HACIA EL FUTURO

Quizás podamos empezar planteándonos la pregunta siguiente: ¿Qué eficacia ha tenido la primera etapa de transformación durante el periodo 1989-1995?

En Europa Central, las realizaciones han sido muy considerables. De acuerdo con una interpretación optimista, puede decirse que se ha alcanzado un punto en que es definitivamente imposible un retorno al antiguo orden establecido.

No obstante, e independientemente de cualquier tipo de interpretación, hemos de reconocer que el proceso de creación del nuevo modelo ha sido más lento y menos eficaz de lo que la oportunidad histórica permitía conjeturar.

Ha quedado demostrado con bastante sencillez que la serie de obstáculos interpuestos en el camino hacia el futuro era más imponente y larga de lo previsto en un principio. A continuación mencionaremos los obstáculos más importantes:

1. En este capítulo, se considera que Europa Central agrupa seis países –Bulgaria, República Checa, Eslovaquia, Hungría, Rumanía y Polonia– con importantes denominadores comunes: experiencia del socialismo real, proceso de transformación en curso, y perspectivas de adhesión a la Unión Europea en el futuro.

En primer lugar, la herencia del socialismo real desde el punto de vista de las estructuras mentales y materiales. Si generalizamos hasta cierto punto, se puede decir que la totalidad del ámbito científico de Europa Central estaba subordinado, directa o indirectamente, a la demanda creada por el complejo industrial militar del imperio soviético. Dentro de una perspectiva a largo plazo, este hecho no constituía forzosamente un factor negativo en todos los casos.

En segundo lugar, la ineficiencia de las estructuras gubernamentales restablecidas, nuevas o remozadas, que no han sido capaces de generar ideas estratégicas a largo plazo sobre el desarrollo de la ciencia en Europa Central. No se ha creado ni aplicado una visión coherente de las políticas científicas e industriales. Las estructuras gubernamentales no han podido resistir dos tipos de presión, que han paralizado la concepción de políticas apropiadas por parte del poder, a saber:

- las presiones populistas, que han situado la posición material y espiritual de los científicos por debajo de un nivel que en raras ocasiones se había conocido en Europa Central;
- la visión primitiva de la ideología neoliberal, que fomenta la idea errónea de que sólo las fuerzas del mercado pueden crear un nuevo modelo de ciencia, en contra de la experiencia teórica y práctica de los países de la OCDE.

El tercer obstáculo principal ha sido la falta de ideas estratégicas y perspectivas holísticas por parte de los sectores dirigentes occidentales, políticos y financieros, que no han sido capaces de promover la concepción y aplicación del nuevo modelo de ciencia en Europa Central. Esto no significa que subestimemos el importante conjunto de actividades llevadas a cabo en Europa Central por numerosas organizaciones e instituciones internacionales, que constituyen un elemento dinámico positivo en el panorama de transformación científica de esta región. Sin embargo, no cabe duda de que en este panorama se consideran más importantes las actividades parciales a corto plazo que los programas estratégicos a largo plazo.

LA SITUACIÓN EN 1995

Según un informe reciente preparado para la Unión Europea, en 1995 el sistema de educación superior y científico en Europa Central presentaba las siguientes características:

- El sistema consiste en una cohabitación de elementos del nuevo orden establecido y del antiguo. Las nuevas soluciones sistémicas van surgiendo en dirección opuesta a parcelas e islotes de los antiguos esquemas institucionales y el grado de coherencia general del sistema es relativamente escaso. La nueva finalidad del sistema es objeto de aceptación general, o al menos así se pretende. En el ámbito de la motivación, la vieja mentalidad sigue desempeñando una función muy importante. Por regla general, aún no se ha resuelto el dilema entre excelencia y mediocridad.
- El sistema funciona en un contexto de restricciones y dificultades financieras, que generan un efecto de contracción en múltiples ámbitos. No obstante, hay que reconocer que se han cosechado algunos éxitos en la creación de nuevas bases financieras.
- El sistema sufre una lenta hemorragia a causa del éxodo externo e interno de cerebros, que amenaza con suprimir los vínculos estratégicos de los campos de investigación y enseñanza más adelantados.
- El sistema se ve aquejado todavía por una estructura en la que predominan las generaciones de edad avanzada o muy avanzada. La escasez de científicos jóvenes y dinámicos es un fenómeno que va en aumento (Comisión Europea, 1995).

Este diagnóstico no significa que el sistema haya perdido su capacidad de supervivencia y transformación, sino solamente que el balance de ésta última no ha resultado ser muy satisfactorio durante el periodo 1989-1995, a causa de factores subjetivos y objetivos (véase el Cuadro 1).

En resumen, el punto de partida para la década decisiva de 1996-2005 se sitúa a un nivel inferior a lo que cabía esperar, según las previsiones optimistas. El primer paso imprescindible para la recuperación tiene que consistir en invertir la tendencia negativa del Gasto Interno Bruto en Investigación y Desarrollo (GIBID) (véanse los Gráficos 1 y 2).

CUADRO 1
INDICADORES BÁSICOS PARA LOS PAÍSES DE EUROPA CENTRAL

	Año	Bulgaria	República Checa	Hungría	Polonia	Rumania	Eslovaquia
Superficie (en miles de km ²)		110,9	78,9	93,0	312,7	237,5	49,0
Población (en miles de personas)	1993	8 470	10 327	10 289	38 459	22 760	5 300
PIB por habitante (PPA ¹)	1989	5 633	6 673	5 524	6 413	—	5 791
(en dólares de los Estados Unidos)	1992	—	6 827	5 399	4 137	3 854 ²	5 022
Crecimiento del PIB (%)	1989-1993	- 32,1	- 17,9	- 18,9	- 14,2	- 32,4	- 21,6
Proporción de las empresas privadas en el PIB (%)	1989	8,9	3,1	14,5	14,7	2,5	3,1
	1994	—	56	50	56	30	53
Entrada de capital extranjero (en miles de millones de dólares de los Estados Unidos)	1990-1994	0,6 ³	3,7	8,5	4,3	1,2	1,5
Deuda exterior (en miles de millones de dólares de los Estados Unidos)	1994	12,9 ⁴	9,1	28,1	41,3	4,3	4,1
Tasa de desempleo (%)	1994	15,7	3,1	10,4	16,0	10,8	14,5
Producción industrial (1993 = 100)	1994	104	102,2	103,9	111,9	102,9	102,4
Científicos e ingenieros de I+D (EJC) ⁷ (por cada 1.000 trabajadores)	1989	11,3 ^{5, 6}	8,5	4,1	—	5,6	1,7
	1992	—	3,9	2,6	2,7	2,7	1,3
Estudiantes de enseñanza superior	1989	157 861	—	100 868	505 727	164 507	—
	1992	195 447	116 560	117 460	584 177	235 669	66 002
Mujeres (en % del total)	1989	52	—	51	59	—	—
	1992	57	44	51	56	47	48
Profesores de enseñanza superior	1989	20 752	—	16 319	65 917	11 696	—
	1992	21 976	14 798	17 743	60 783	18 123	9 351
Proporción estudiantes-profesores	1989	7,6	—	6,2	7,7	14,1	—
	1992	8,9	7,9	6,6	9,0	13,0	7,0

1. Paridad de poder adquisitivo (ppa).

2. 1990.

3. 1990-1993.

4. 1993.

5. Academia Búlgara de Ciencias exclusivamente.

6. 1985.

7. Equivalente jornada completa.

— Datos no disponibles.

Fuentes: *Anuarios estadísticos de la UNESCO 1994*; *Monitoring European integration - the impact of Eastern Europe*, CEPR Annual Report, Londres, 1990; *National accounts statistics: main aggregates and detailed tables 1991*, Naciones Unidas, New York, 1993; *Statistická ročenka Slovenskej Republiky 1993*, Bratislava, 1994; *Statistická ročenka Česke Republiky 1994*, Praga, 1994; *Statistical yearbook of Hungary 1994*, Budapest 1994; *Rocznik statystyczny 1994*, GUS, Varsovia, 1994.

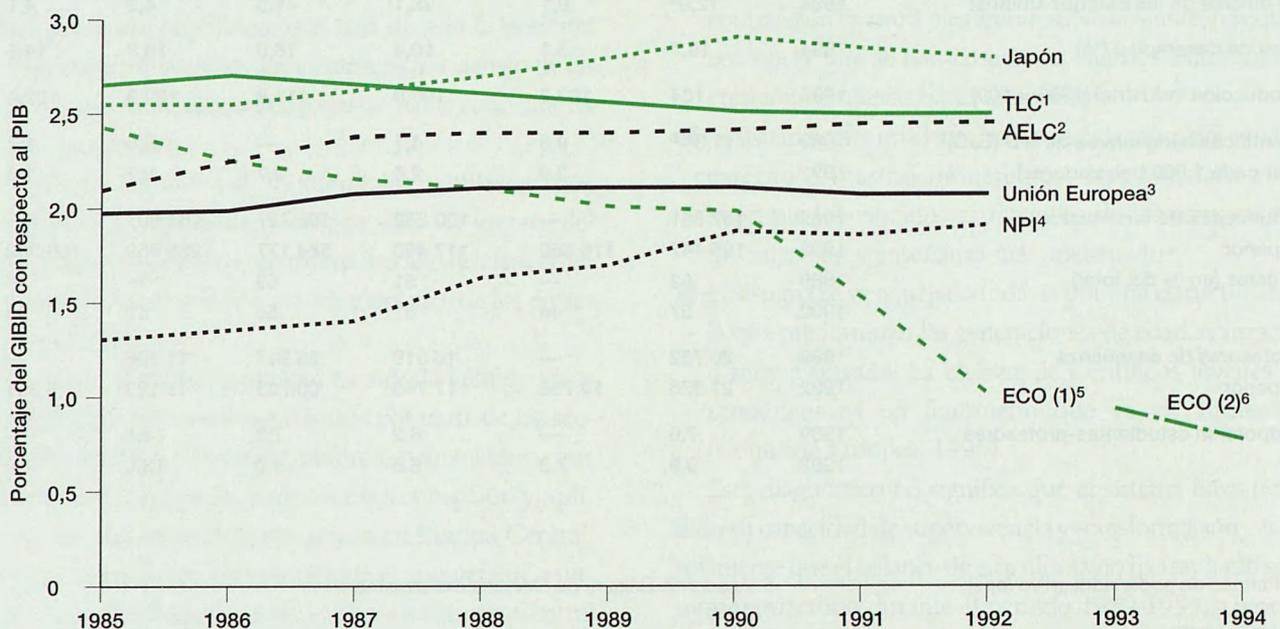
LAS ANTIGUAS Y LAS NUEVAS INSTITUCIONES

El aspecto positivo del periodo 1989-1995 ha sido, en gran medida, la creación de nuevas instituciones y organismos encargados del desarrollo científico, especialmente en el plano nacional. Estos cambios institucionales han sido muy bien documentados y analizados en una sucesión de publicaciones innovadoras y exhaustivas del Instituto de Ciencias Humanas de Viena (1993), y las actividades de estas nuevas instituciones han sido descritas por Frackowiack (1994) e Imre (1994). Debe mencionarse también, como elemento positivo en este contexto, la

nueva legislación sobre educación superior y ciencia promulgada por los respectivos parlamentos y gobiernos.

Las instituciones y la legislación recientes han creado incentivos para introducir el espíritu de emulación en el sistema de investigación. La apreciación efectuada por colegas del mismo nivel, es decir, la evaluación competitiva y objetiva de los proyectos presentados para obtener financiación, representa una innovación muy positiva en el ámbito de la investigación y una adaptación de la comunidad científica a las normas generales de conducta características de la sociedad competitiva, que está surgiendo paulatinamente en Europa Central. Por supuesto, este sis-

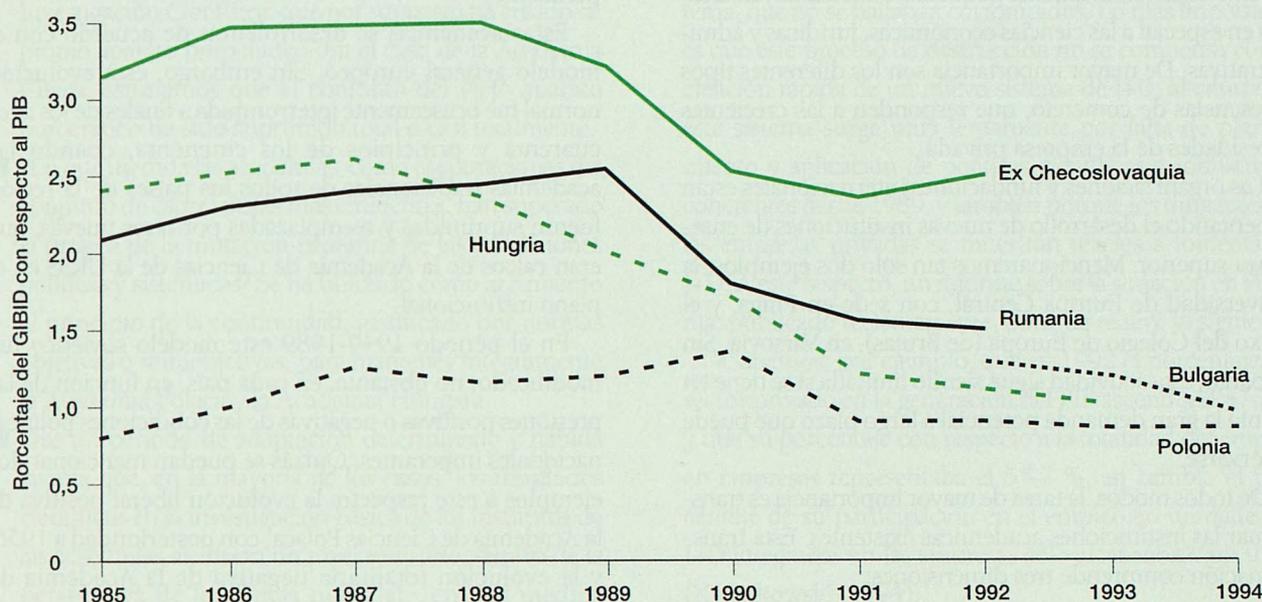
GRÁFICO 1
TENDENCIA EN LA INTENSIDAD DE LA I+D



1. TLC - Canadá, Estados Unidos de América y México.
2. AELC - Austria, Finlandia, Islandia, Noruega, Suecia y Suiza.
3. Unión Europea - Alemania, Bélgica, Dinamarca, España, Francia, Grecia, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Países Bajos, Portugal y Reino Unido.
4. NPI - República de Corea, Hong Kong, Singapur y Taiwán.
5. ECO (1) - Bulgaria, ex Checoslovaquia, Hungría, Polonia, Federación de Rusia, Rumanía y Ucrania.
6. ECO (2) - Bulgaria, República Checa, Eslovaquia, Hungría, Polonia y Rumanía.

Fuente: *European Report on Science and Technology Indicators 1994*, Comunidades Europeas, Bruselas, 1994, y diversas fuentes nacionales.

GRÁFICO 2
TENDENCIAS EN LA INTENSIDAD DE LA I+D EN CADA PAÍS DE EUROPA CENTRAL



Fuente: *European Report on Science and Technology Indicators 1994*, Comunidades Europeas, Bruselas, 1994, y diversas fuentes nacionales.

tema de apreciación por parte de los colegas adolece de ciertos puntos débiles, que son especialmente obvios en los países más pequeños donde todo el mundo se conoce.

LA TRANSFORMACIÓN DE LA EDUCACIÓN SUPERIOR

El proceso de transformación de la enseñanza superior en Europa Central durante el periodo 1989-1995 ha sido más lento y menos eficaz de lo que se había previsto en un principio. Tres factores explican este fenómeno:

- la escasa prioridad que las elites políticas y los gobiernos han concedido a la enseñanza superior;

- el ambiente paralizador creado por la restricción de los recursos financieros;
- el poder excesivo de los órganos colectivos, como juntas rectorales y claustros de profesores universitarios. En la práctica, estos organismos rebajan el poder de decisión de rectores y decanos a un nivel situado por debajo del mínimo necesario, incluso en lo tocante a la administración corriente, y no digamos nada de lo que atañe a las soluciones estratégicas a largo plazo².

No obstante, en medio de este panorama deprimente, se puede observar la aparición de sectores aislados donde la transformación se lleva a cabo con éxito.

2. Compartimos el juicio de valor expresado en *Transformation of the National Higher Education and Research Systems of Central Europe* (TERC): «Por lo que respecta al problema de la autonomía de los centros docentes, la mayoría de los encuestados en los cuatro países opina que se han traspasado demasiados poderes a los órganos colectivos (juntas de gobierno rectorales, claustros profesoraes de departamentos de las facultades y consejos científicos de los institutos). Los poderes ejecutivos de directores, rectores y decanos son demasiado limitados». S. Amsterdamski, TERC, Volumen 5 (Instituto de Ciencias Humanas, 1993).

En Europa Central se está desarrollando rápidamente un nuevo sistema de educación superior privada. Se puede hallar un conjunto de nuevos centros de enseñanza, de dimensiones relativamente pequeñas o medianas, dedicados en especial a las ciencias económicas, jurídicas y administrativas. De mayor importancia son los diferentes tipos de escuelas de comercio, que responden a las crecientes necesidades de la empresa privada.

Las organizaciones y fundaciones internacionales están fomentando el desarrollo de nuevas instituciones de enseñanza superior. Mencionaremos tan sólo dos ejemplos: la Universidad de Europa Central, con sede en Praga, y el anexo del Colegio de Europa (de Brujas), en Varsovia. Sin embargo, esta actividad sigue siendo limitada si se tiene en cuenta la gran demanda potencial a largo plazo que puede observarse.

De todos modos, la tarea de mayor importancia es transformar las instituciones académicas existentes. Esta transformación comprende tres dimensiones:

- la que se podría denominar «espiritual», es decir, la interiorización del planteamiento competitivo por parte de profesores y estudiantes;
- la adaptación de los currículos a las nuevas demandas creadas por los adelantos científicos, tecnológicos y económicos;
- la transformación material, es decir, la rápida modernización del equipamiento técnico de las universidades.

Aunque se adopte un punto de vista pesimista, no se deben subestimar las realizaciones del periodo 1989-1995. No obstante, la labor para la próxima década es inmensa. El sistema de educación superior exige un rápido desarrollo cuantitativo y cualitativo. Actualmente, el número de estudiantes en Europa Central es demasiado reducido con respecto a otras regiones de Europa y a las demandas de la economía y la sociedad.

LA TRANSFORMACIÓN DE LAS ACADEMIAS DE CIENCIAS

En el siglo XIX, se crearon Academias de Ciencias en los centros universitarios más importantes de Europa Central.

Luego, su desarrollo prosiguió ininterrumpidamente y sus actividades se extendieron en el periodo 1918-1939, cuando todos los países de la región fueron Estados independientes.

Estas academias se desarrollaron de acuerdo con el modelo general europeo. Sin embargo, esta evolución normal fue bruscamente interrumpida a finales de los años cuarenta y principios de los cincuenta, cuando las academias tradicionales de todos los países de la región fueron suprimidas y reemplazadas por otras nuevas, que eran calcos de la Academia de Ciencias de la URSS en el plano institucional.

En el periodo 1949-1989 este modelo soviético fue modificado, no obstante, en cada país, en función de las presiones positivas o negativas de las condiciones políticas nacionales imperantes. Quizás se puedan mencionar dos ejemplos a este respecto: la evolución liberal positiva de la Academia de Ciencias Polaca, con posterioridad a 1956, y la evolución totalitaria negativa de la Academia de Ciencias Checoslovaca, después de 1968. La Academia de Ciencias Rumana ha demostrado ser un caso especial, en el que se dieron aspectos positivos y negativos a un tiempo.

En las primeras etapas de la transformación democrática posterior a 1989, algunos círculos con posiciones radicales opinaron que las academias debían ser suprimidas a causa del pecado original de su procedencia soviética. Afortunadamente, esta propuesta drástica no prosperó y las academias pudieron sobrevivir a esos tiempos borrascosos y tomar el difícil rumbo de su transformación, aunque sea de lamentar que ésta haya sido más bien lenta e ineficaz en el periodo 1989-1995, a excepción quizás del caso de la Academia Checa (Illner, 1994).

En cualquier reflexión de índole comparativa que se efectúe, se plantean tres interrogantes de especial importancia:

- ¿En qué medida resulta posible suprimir el pesado aparato burocrático creado por el antiguo régimen, cuando el Ministerio de Ciencia desempeñaba *de facto* la función de Academia de Ciencias? El caso de Polonia

nos muestra que una gran parte de dicho aparato ha subsistido, aunque las funciones del Ministerio de Ciencia las asuma la Comisión Estatal para la Investigación Científica, que por supuesto ha creado su propio aparato burocrático. En el caso de la Academia Checa, estimamos que el conjunto del viejo aparato burocrático ha sido suprimido total o casi totalmente.

- ¿En qué medida las academias, como corporaciones del conjunto de especialistas más eminentes, han superado la prueba de la mutación profunda de las condiciones políticas y sistémicas? Se ha utilizado como argumento el principio de la continuidad, justificado por normas objetivas o semiobjetivas, para mantener íntegramente la Academia Polaca y la Academia Húngara.
- Tras un periodo de adaptación determinado y habida cuenta que, en la mayoría de los casos, los resultados científicos en la investigación básica de los institutos de las academias alcanzan un nivel muy alto, dentro de la perspectiva de la ciencia mundial, ¿en qué medida deberían éstos ofrecer condiciones propicias para una sucesiva etapa de desarrollo? No está claro si este desarrollo ha de efectuarse manteniendo el actual esquema institucional o creando otro nuevo, inspirado en las experiencias del CNRS de Francia o del Max-Planck-Gesellschaft de Alemania.

LA TRANSFORMACIÓN DEL SISTEMA DE I+D

El sistema del socialismo real dio lugar a la existencia de infraestructuras de I+D, desmesuradas e ineficaces por regla general, formadas por vastas redes de institutos y laboratorios, cuya gestión era llevada directamente por el aparato del sector correspondiente de la economía estatal de administración centralizada. Estas infraestructuras lograron recibir una proporción de los recursos asignados de manera centralizada muy superior a la de los atribuidos a las academias y a la enseñanza superior.

Los procesos de transformación del periodo 1989-1995 han servido para limitar este aspecto heredado del socialismo real, lo cual puede considerarse como un fenómeno positivo y un veredicto histórico inevitable. Se está dando,

desafortunadamente, una peligrosísima tendencia a suprimir la totalidad del antiguo sistema de I+D y a destruir al mismo tiempo múltiples elementos válidos del antiguo sistema, que no se hallaban corrompidos. Lo más importante es que este proceso de destrucción no se compensa con la creación rápida de un nuevo sistema de I+D; al contrario, este sistema surge muy lentamente por falta de planeamiento y aplicación de políticas científicas e industriales coherentes desde 1989, y también porque los dirigentes de las empresas privadas se muestran reacios a fomentar la I+D. A este respecto, un informe sobre la situación en Polonia, publicado recientemente, pone de relieve lo siguiente:

«Sabemos, por ejemplo, que en 1992 el porcentaje del sector privado en la generación del PIB ascendía al 47,2 % y que su porcentaje con respecto a la totalidad del empleo en empresas representaba el 55,7 %, en cambio el porcentaje de su participación en el empleo en unidades de I+D integradas en las empresas sólo alcanzaba... un 9 %» (Kwiatkowski, 1994).

El tercer motivo al que se debe la lentitud de creación del nuevo sistema es la renuencia de las multinacionales y otras empresas extranjeras a mantener y desarrollar unidades de I+D en las empresas que poseen en Europa Central.

Una de las cuestiones a resolver con la mayor urgencia en Europa Central es la creación de un sistema de I+D adaptado a las condiciones de cada país y a los retos que el siglo XXI va a plantear en el plano europeo y en el mundial.

LA CIENCIA DE EUROPA CENTRAL EN EL ÁMBITO MUNDIAL

La presencia de la ciencia centroeuropea en el ámbito mundial tiene una larga tradición. Probablemente sea Copérnico quien constituye el ejemplo más digno de mención a este respecto. Por otra parte, también es cierto que el historial de los países de la región es más bien pobre por lo que respecta al número de premios Nóbel concedidos.

Los resultados del socialismo real fueron desiguales. En la esfera de las ciencias naturales y de la ingeniería, el Estado prestaba un apoyo relativamente importante y, en este contexto, cabe por supuesto mencionar la función

CUADRO 2
PUBLICACIONES CIENTÍFICAS Y RESULTADOS EN MATERIA DE PATENTES DE ALGUNOS PAÍSES
DE EUROPA CENTRAL

	Año	Ex Checoslovaquia	Hungría	Polonia
Total de publicaciones	1992	4 586	2 795	5 844
Puesto en la clasificación mundial, según el número total de publicaciones	1981-1992	21	26	17
Aumento del número de publicaciones (base 1981 = 100)	1992	120	110	128
Aumento del índice medio de citas por publicación	1988-1992/ 1981-1985 (%)	12	3	9
Solicitudes de registro de patentes presentadas por residentes y no residentes en el país	1991	5 934	9 950	8 817
Número de patentes concedidas en los EE.UU.	1991	47	966	106

Fuente: *Scientific Citation Index 1981-1992*, del Institute for Scientific Information, Filadelfia; Oficina de Patentes de los EE. UU.

desempeñada por el complejo industrial militar soviético. En la esfera de las ciencias sociales y de las humanidades hubo una diferencia notable entre los países donde se produjeron experiencias relativamente liberales, como Polonia y Hungría, y los países donde se aplicaron políticas rígidas, como Bulgaria, Checoslovaquia y Rumania.

En contra de las previsiones iniciales, el periodo de transformación de 1989-1995 no ha conllevado que Europa Central mejorase su posición en el panorama científico internacional (véanse el Cuadro 2 y el Gráfico 3). Al contrario, las dificultades financieras y las consecuencias del éxodo de cerebros han mermado obviamente la capacidad competitiva de la región, y sus países se han visto desplazados a puestos más bajos en la clasificación internacional.

No obstante, este descenso no es espectacular y se puede esperar razonablemente que la situación mejore en este ámbito en un futuro próximo, si se aplica un proyecto más positivo de desarrollo de la ciencia en la región.

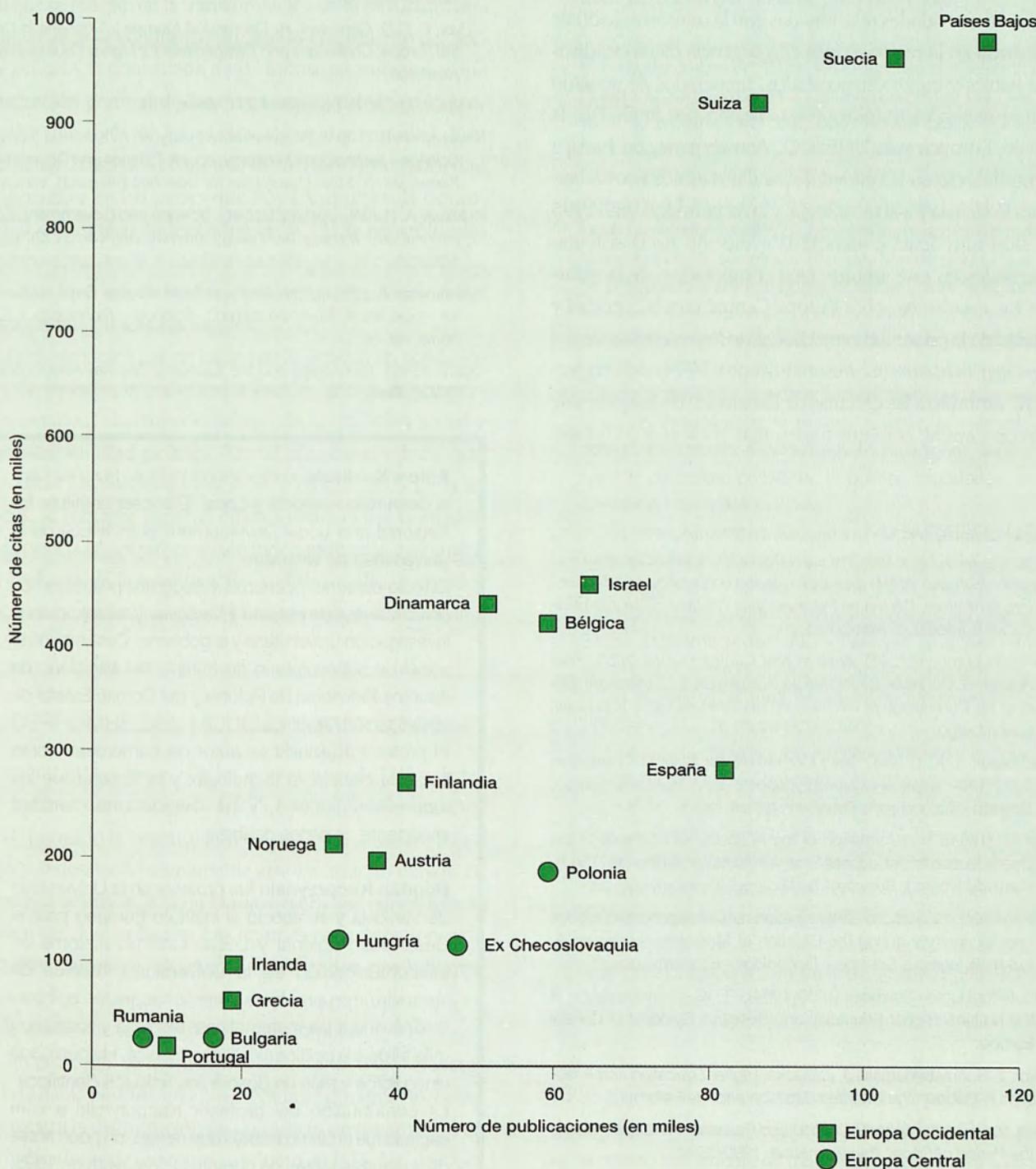
CONCLUSIÓN

Quizás resulte apropiado formular tres observaciones para concluir.

La primera es que el proceso de transformación de la ciencia en Europa Central ha avanzado considerablemente, aunque haya quedado demostrado que los obstáculos endógenos y exógenos, que merman la eficacia de este proceso, han sido mayores de lo que en un principio se previó. La década crucial de 1996-2005 será testigo de la construcción de un nuevo modelo de ciencia en Europa Central, mejor vinculado a la Unión Europea, a la que muy probablemente se incorporarán los países de la región como miembros de pleno derecho, a principios del siglo próximo. La transformación de la ciencia en la región es necesaria no sólo para la ciencia propiamente dicha sino también como factor esencial de evolución del conjunto de la economía.

La segunda es que el seguimiento, así como la explicación y orientación del nacimiento del nuevo modelo de ciencia en Europa Central están creando una perentoria necesidad de vastos estudios comparativos empíricos, que permitan analizar el conjunto del proceso dentro de un marco metodológico riguroso. En estos estudios habrá que definir adecuadamente las características generales del proceso de transformación en la región y las específicas de cada

GRÁFICO 3
TOTAL DE PUBLICACIONES Y CITAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALGUNOS PAÍSES EUROPEOS, 1981-1992



Fuentes: *National Science Indicators, 1981-1992*, ISI, Philadelphia, 1993.

país. No ha resultado posible examinar estas últimas en el presente capítulo, debido a las limitaciones de espacio.

Por último, la tercera observación a formular es que todas las actividades relacionadas con la transformación de la ciencia en la región exigen con urgencia datos estadísticos fiables y mejor estructurados, preparados de acuerdo con el marco metodológico establecido por la OCDE, la Unión Europea y la UNESCO. Actualmente, en Europa Central es escasa la calidad de los datos estadísticos relativos a la ciencia y a la tecnología, y en el periodo 1989-1995 ha sido muy lenta e ineficaz la evolución hacia sistemas adecuados en este ámbito. Una comparación de la información estadística sobre Europa Central con la cantidad y calidad de la presentada en el *European Report on Science and Technology Indicators* (Comisión Europea, 1994) debería servir de estímulo a las Oficinas de Estadística de los países de Europa Central, para que fuesen más eficaces en el futuro.

BIBLIOGRAFÍA

- Comisión Europea (1994). *European Report on Science and Technology Indicators*. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Luxemburgo.
- Comisión Europea (1995). *Eastern and Central Europa 2000. Final Report*. G. Gorzelak, B. Jalowiecki, A. Kuklinski, L. Zienkowski. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Luxemburgo.
- Frackowiak J. K. (1994). State Committee for Scientific Research 1991-1994. Experiences and Prospects, en A. Kuklinski (comp.), *Science - Technology - Economy, op. cit.*
- Illner M. (1994). Transformation of the Academy of Sciences of the Czech Republic. A Success Story of Institutional Change?, en A. Kuklinski (comp.), *Science - Technology - Economy, op. cit.*
- Imre J. (1994). International Determinations of Development in Science and Technology during the Creation of Market Economy, en A. Kuklinski (comp.), *Science - Technology - Economy, op. cit.*
- Institute for Human Sciences (1993-1994). TERC - Transformation of the National Higher Education and Research Systems of Central Europe:
- Vol. 1. S. Amsterdamski, J. Jablecka, *Higher Education and Research in Poland: The Inherited Situation and the Reforms*;
 - Vol. 2. G. Fabri, *Higher Education and Research in Hungary during the Period of Social Transformation: 1990-1992*;
 - Vol. 3. J. Koucky, J. Hendrichova, *Higher Education and Research in the Czech Republic: Major Changes since 1989*;

- Vol. 4. E. Samir, S. Zajac, *Higher Education and Research in the Slovak Republic: Major Changes since 1989*;
 - Vol. 5. A. Amsterdamski, *Perception of Dilemmas: Summary of a Qualitative Study*;
 - Vol. 6. C.G. Campbell, R. Dahrendorf (comps.), *Changes in Central Europe: Challenges and Perspectives for Higher Education and Research*;
 - Vol. 7. *Issues in Transition 1994*. Viena: IHS.
- Kacprzyński B. (1994). Pro-innovative Policy, en A. Kuklinski (comp.), *Science - Technology - Economy, op. cit.* Science and Government Series, vol. 3. State Committee for Scientific Research, Varsovia.
- Kuklinski A. (1994). Opinion: Society, Science and Government. *Educational and Training Technology International*, vol. 31 (2), págs. 126-133.
- Kwiatkowski S. (1994). *Transition and Technological Gaps*. In Search for Hope, en A. Kuklinski (comp.), *Science - Technology - Economy, op. cit.*
- OCDE (1992). *Technology and the Economy. The Key Relationships*, OCDE, París.

Antoni Kuklinski es director del Instituto Europeo para el Desarrollo Regional y Local (European Institute for Regional and Local Development-EUROREG) de la Universidad de Varsovia.

Estudió derecho, economía y geografía política en las universidades de Poznan y Varsovia, y trabajó para la investigación universitaria y el gobierno. Desempeñó el papel de subsecretario de Estado del Ministerio de Asuntos Exteriores de Polonia y del Comité Estatal de Investigación Científica.

El profesor Kuklinski es autor de numerosas obras sobre la ciencia, la tecnología, y el fomento de los recursos regionales, y ha dirigido una cantidad importante de series de libros.

Bogdan Kacprzyński fue profesor en la Universidad de Varsovia y se asoció al Instituto Europeo para el Desarrollo Regional y Local. Con un diploma en telecomunicación de la Universidad Técnica de Varsovia, ha prestado interés especial e interdisciplinario a las matemáticas, técnicas y sociales, y más tarde a la política científica y técnica. Ha publicado cinco libros y más de doscientos artículos científicos. La contribución del profesor Kacprzyński a este capítulo fue el último trabajo que realizó, un poco antes de su muerte repentina durante la primavera de 1995.

Comunidad de Estados Independientes

LEONID GOKHBERG

La desintegración de la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas trajo consigo cambios fundamentales en los objetivos del desarrollo económico, social y político nacional que se reflejan en la transformación de la estructura institucional de la economía, un rápido crecimiento del sector privado, la conversión de las industrias militares y una integración gradual de los ex países soviéticos en la economía mundial, en los planos regional y mundial. Esta transición hacia una economía de mercado y una sociedad democrática en los países que hoy constituyen la Comunidad de Estados Independientes (CEI) tiene profundas repercusiones en sus medios científicos y la ciencia se ha convertido en una de las principales preocupaciones de sus respectivas políticas nacionales.

Estos procesos tienen lugar por lo general en condiciones de recesión económica, inflación, graves déficit presupuestarios, un empeoramiento de la situación social y una inestabilidad política. En tal situación, y habiendo heredado los sistemas científicos y tecnológicos de la ex URSS, se requiere especial cuidado para evitar la erosión de la ciencia en los países recién independizados y para sentar las bases de la investigación y el desarrollo orientados hacia el mercado que exige el futuro renacer económico y social.

EL DERRUMBE DEL MODELO SOVIÉTICO DE I+D

El importante aumento de los organismos de I+D y de las inversiones conexas en la URSS hasta fines de los años 1970 permitió la constitución de una base de la investigación y el desarrollo sumamente amplia, mucho mayor, en términos relativos, a la de la mayoría de los países industrialmente desarrollados. Las grandes concentraciones de recursos humanos altamente cualificados posibilitaron algunos logros impresionantes en investigación básica y en el desarrollo de tecnologías para uso militar.

Sin embargo, ya a principios de los años 1980 el sector de I+D había perdido en gran medida su dinamismo, como demuestra la disminución de los índices de crecimiento en los indicadores de insumo y producto en I+D. Así, después de 1985-1986 el empleo en este sector disminuyó en la

La Comunidad de Estados Independientes

El 8 de diciembre de 1991, los dirigentes de Belarrús, Rusia y Ucrania firmaron un acuerdo en virtud del cual se fundó la Comunidad de Estados Independientes (CEI). Reconociendo que los Estados soberanos que constituían anteriormente la URSS compartían la voluntad de introducir reformas políticas y económicas, fue a todas luces necesario revisar radicalmente las relaciones entre las ex repúblicas soviéticas. El nuevo tipo de unidad que se procuraba instaurar podía basarse únicamente en unos principios aceptados internacionalmente de reconocimiento mutuo y de respeto de la soberanía nacional, de igualdad y no interferencia. Las principales esferas de actividad coordinada han sido las fuerzas armadas estratégicas, la política exterior, el mercado común, los transportes y las telecomunicaciones, la protección del medio ambiente, la política migratoria y la prevención de la delincuencia.

Armenia, Kazakstán, Kirguistán, Moldavia, Tayikistán, Turkmenistán y Uzbekistán se unieron a la CEI al firmar el Protocolo el 21 de diciembre de 1991 en Alma-Ata. Azerbaiyán fue admitido oficialmente en la comunidad el 24 de septiembre de 1993 y Georgia se adhirió en diciembre de ese mismo año. En sus fronteras actuales, la CEI representa el 99,2 % del antiguo territorio de la URSS y el 97,2 % de su población.

Con objeto de relajar las tensiones iniciales, los países miembros de la CEI se han propuesto establecer una asociación encaminada efectivamente hacia la integración. La Reunión en la Cumbre de la CEI, celebrada el 21 de octubre de 1994 en Moscú, tenía por objetivo principal estrechar la cooperación como condición previa para superar la crisis y permitir un crecimiento económico. Con este fin, se concertaron acuerdos sobre, entre otras cosas, una zona de libre comercio y unas actividades políticas, científicas y culturales comunes.

URSS en general y en la mayoría de las ex repúblicas en particular. Esta tendencia negativa, que sólo hasta hace poco se ha puesto claramente de manifiesto, tiene profundas raíces en la índole especial del modelo soviético de I+D.

La herencia de la centralización

La fuerte centralización de la investigación y el desarrollo y la distribución desigual de los organismos de investigación que se fue dando a lo largo de decenios en la URSS han impuesto diferencias entre los países de la CEI en cuanto a la capacidad y la especialización científicas. La distribución regional de la investigación y el desarrollo se han concentrado en las regiones desarrolladas de intensa actividad económica, tanto en la URSS como en Rusia.

Así, casi el 58 % de los organismos de I+D, el 54 % de los establecimientos de enseñanza superior, el 68,5 % de los estudiantes de posgrado, el 66,7 % del personal de I+D y 72,2 % del gasto total en I+D en la URSS se concentraban en Rusia¹. Por ejemplo, la contribución de Rusia a la investigación y el desarrollo en términos de gasto era cinco veces superior a la de Ucrania, que ocupaba el segundo lugar a este respecto, y la diferencia era mucho mayor con respecto a otros Estados. Las partes de Belarrús, Kazakstán y Uzbekistán eran de entre 1,3 y 3,4 %, en tanto que los esfuerzos en I+D de Kirguistán, Tayikistán y Turkmenistán no rebasaban un 0,15 a un 0,2 % del total registrado en la URSS (Cuadro 1).

Las exigencias políticas y la tradición histórica determinaron la distribución geográfica desigual de la investigación y el desarrollo, no pudiendo sobrestimarse la influencia de estos factores. La red de instituciones de investigación académicas y de establecimientos principales de enseñanza superior heredados de la ex URSS se concentraba sobre todo en las grandes ciudades, esto es, las capitales de las repúblicas de la ex Unión y los centros de las regiones administrativas. Se trata de una consecuencia de la concentración de los órganos gubernamentales y del poder administrativo en el sistema soviético, así como de los niveles de vida más altos prevalecientes en las grandes ciudades. Así, por ejemplo, las primeras instituciones de la Academia y las universidades se establecieron en Moscú, San Petersburgo, Kazán, Kharkov, Kiev, Lvov, etc. Los principales centros de información científica y tecnológica, las bibliotecas y los archivos se encontraban también en las grandes ciudades.

CUADRO 1
DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LOS PRINCIPALES INDICADORES DE I+D DE LA EX URSS POR PAÍS, 1991¹

	Instituciones de I+D ²	Personal de I+D	Gastos de I+D
URSS	100,0	100,0	100,0
CEI	97,6	97,4	97,7
Rusia	57,8	66,7	72,2
Otros países de la CEI	39,8	30,7	25,5
Belarrús	4,4	3,6	3,4
Kazakstán	3,5	1,6	1,3
Moldavia	1,4	0,8	0,7
Ucrania	17	17,9	15,8
Países del Cáucaso	5,1	3,0	1,6
Armenia	1,6	0,9	0,5
Azerbaiyán	1,8	0,9	0,6
Georgia	1,7	1,2	0,5
Países de Asia Central	8,2	3,7	2,7
Kirguistán	0,8	0,3	0,2
Tayikistán	0,9	0,3	0,2
Turkmenistán	0,9	0,3	0,2
Uzbekistán	5,6	2,8	2,1
Países bálticos	2,4	2,6	2,3

1. Las cifras individuales pueden no ajustarse a los totales debido a que se han redondeado.

2. Excluida Lituania.

Fuente: Centro de Investigaciones y Estadísticas Científicas.

La Academia de Ciencias de la URSS estaba organizada como un órgano administrativo muy centralizado, mientras que las academias de las repúblicas existían en calidad de afiliadas que servían para realzar su prestigio político y constituían una plataforma en que se podían tratar los problemas económicos y sociales locales. A fin de crear rápidamente un contingente de investigadores para las repúblicas nacionales se adoptaron medidas especiales, entre

ellas el establecimiento de cuotas para el ingreso en las universidades rusas sin concurso y con pocas exigencias para la presentación de tesis de doctorado.

Los servicios de I+D y de enseñanza superior de Rusia solían ser la fuente de los progresos en ciencia y tecnología en muchos campos en los otros Estados recién independizados y la desintegración de la Unión Soviética constituye una amenaza para su ulterior desarrollo. Se ha reducido el acceso de ciudadanos de otras repúblicas a las universidades y las escuelas de formación profesional más prestigiosas de Rusia. Al mismo tiempo, varios institutos de investigación básica avanzada, algunas unidades industriales de I+D y las instalaciones especiales de importancia transnacional (por ejemplo, la base de lanzamiento de naves espaciales de Baikonur y los observatorios de Crimea y Armenia) están situados fuera de la Federación de Rusia. En consecuencia, las capacidades de I+D de algunos de los Estados recién independizados en algunos campos de investigación no responden forzosamente a las demandas de la economía nacional. Por esos motivos, es razonable y mutuamente ventajoso transformar las relaciones de tipo «centro-periferia» en una cooperación equitativa y a largo plazo en ciencia y tecnología entre los países de la CEI.

Infraestructuras comunes

Los sectores de I+D de los países de la CEI se caracterizan básicamente por una estructura y una organización institucional común que están ejerciendo una influencia considerable en su transformación durante el periodo de transición.

La infraestructura institucional de I+D en la URSS estaba organizada en función de los principios generales del sistema administrativo soviético. Como otras entidades jurídicas, los organismos de I+D dependían de determinados sectores ministeriales. Por lo general, la investigación y el desarrollo se lleva a cabo en los países de la CEI en cuatro agrupaciones (véase el Gráfico 1).

Debido a la orientación tecnocrática de la investigación y el desarrollo, el sector industrial de I+D desempeñó un papel dominante en la URSS, tanto en cuanto al número de instituciones de I+D (64 %) e investigadores (66 %) como en relación con el valor de la investigación y el desarrollo (75,8 %)¹. Esta distribución de las capacidades de I+D por sector sigue vigente en gran medida en los países de la CEI, con algunas variaciones locales.

Tradicionalmente, los sectores de actividad en I+D se han especializado en distintos tipos de actividad. Así, la investigación básica se ha concentrado en el sector académico, en un número limitado de institutos de I+D, en su mayoría al servicio de las industrias militares, así como en algunos institutos prestigiosos de enseñanza superior.

A diferencia de la mayoría de las academias de ciencias de los países occidentales, las academias de la CEI se encargan de la administración de redes de institutos de I+D separados de la industria y la enseñanza superior. Han heredado una estructura jerárquica típica de los departamentos ministeriales soviéticos.

El antiguo sistema había creado barreras entre la Academia, las universidades y la industria. Esta separación artificial entre la ciencia y la enseñanza superior se hizo en detrimento del estatuto social y la autoridad científica de las universidades. La investigación y el desarrollo en el sector de la enseñanza superior gozaban de una mediocre reputación, al menos entre los investigadores académicos.

Las excepciones a esta regla eran las grandes universidades de elite y unas cuantas escuelas superiores de ingeniería que formaban al personal para la investigación y el desarrollo militar. Éstas contaban con recursos muy superiores y estaban a la altura de los centros de enseñanza e investigación más prestigiosos. Estos establecimientos solían contar entre sus profesores con los investigadores académicos y trabajaban conjuntamente con los institutos de investigación con respecto a los programas de estudios superiores.

1. Datos de 1990. El valor de la investigación y el desarrollo comprende los gastos corrientes relativos a I+D y las ganancias obtenidas por los organismos de I+D de las actividades de I+D llevadas a cabo durante el año.

GRÁFICO 1
I+D: SECTORES DE ACTIVIDAD EN LOS PAÍSES DE LA CEI

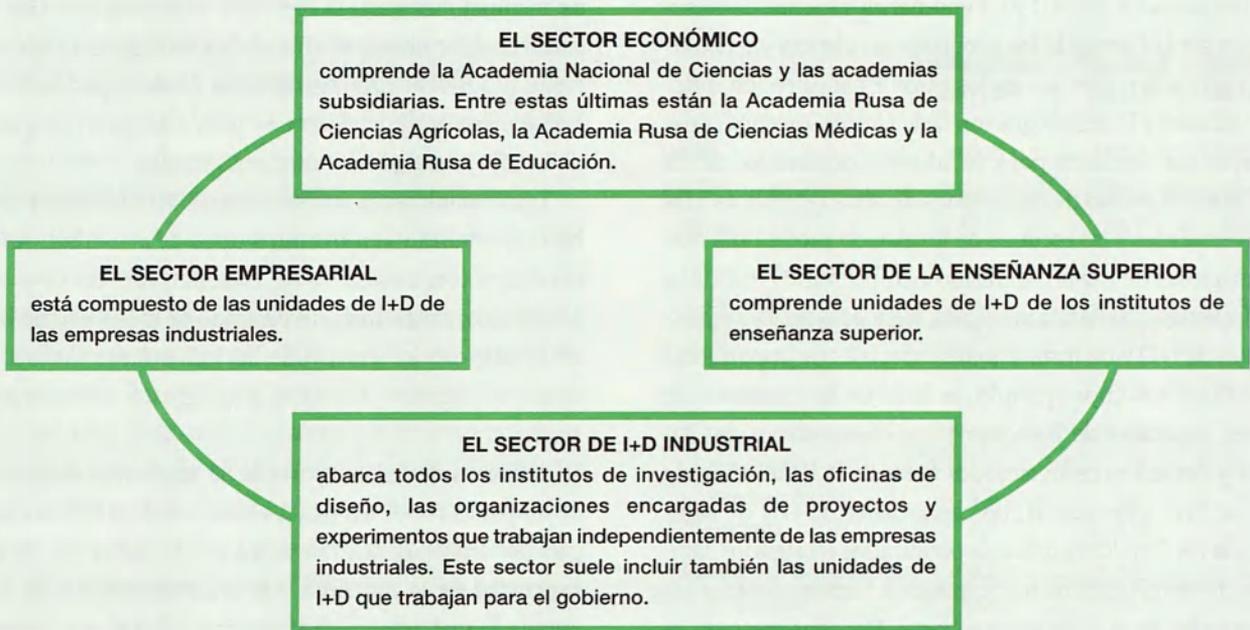
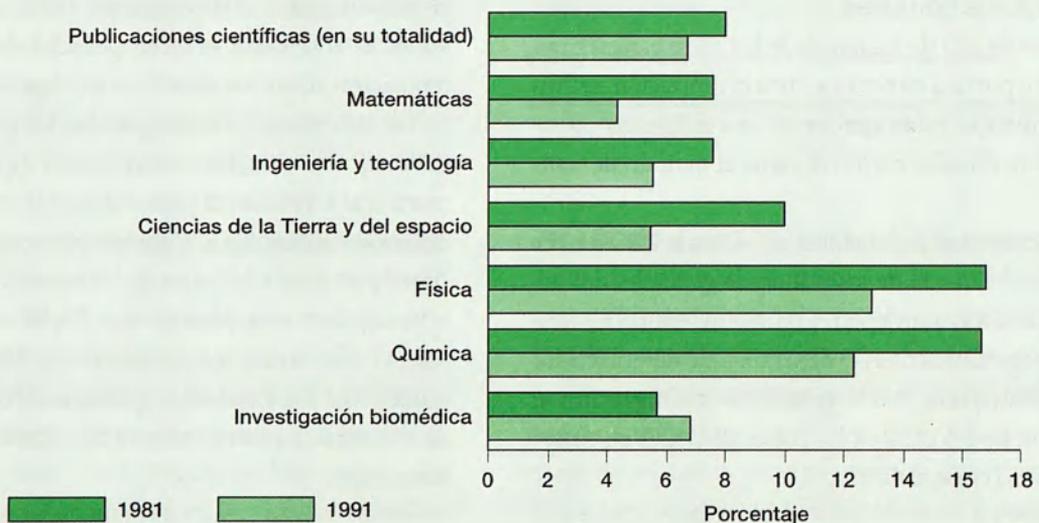


GRÁFICO 2
CONTRIBUCIÓN DE LA URSS A LAS PUBLICACIONES CIENTÍFICAS EN EL MUNDO



Fuente: National Science Board, 1993.

El sector industrial de I+D que, por definición, se dedicaba principalmente a la investigación y el desarrollo aplicados, pasó a ser descomunal. Cada sector o departamento ministerial tendió a establecer su propia red de unidades de I+D, muchas de las cuales estaban principalmente al servicio de la administración más que de las empresas. La investigación y el desarrollo más avanzados de la industria se dedicaban a las aplicaciones militares.

Sin embargo, por razones económicas e institucionales, el sector empresarial era relativamente más débil que los otros y por lo general sólo era capaz de adaptar algunas innovaciones a la producción con objeto de modernizar los productos corrientes. Se caracterizaba por tener los indicadores más bajos de I+D.

En su conjunto, la investigación y el desarrollo en los países de la CEE existían en el marco de una rígida subordinación administrativa de las unidades encargadas de la investigación, lo que propiciaba la creación de fuertes intereses colectivos y la inercia que resultan difíciles de superar en el actual periodo de transición, aunque esto es indispensable.

Aislamiento y prioridades de la ciencia

Durante varios decenios, la ciencia y la tecnología en la Unión Soviética se desarrollaron bajo la intensa presión de dogmas ideológicos y políticos y se juzgaban principalmente desde el punto de vista del prestigio político y el potencial militar de la nación. El aislamiento económico de la URSS antes de la Segunda Guerra Mundial y la cooperación internacional muy limitada durante la «guerra fría» subsiguiente produjeron un grave desajuste en la ciencia. La estrategia de la URSS en materia de I+D era muy general y cubría todos los campos de la ciencia y la tecnología. En algunos de ellos, los objetivos de los programas científicos nacionales repetían los que se habían fijado en el extranjero. A falta de poder aprovechar las ventajas de una colaboración internacional, los recursos se gastaron de modo ineficaz y la investigación científica quedó, cuando menos, levemente por debajo del nivel internacional. Así, a pesar de los notables logros en la investigación espacial, la física nuclear, etc., la contribu-

ción de la URSS a la literatura científica y tecnológica durante el periodo 1981-1991 pasó de un 8 a un 6,7 % (Gráfico 2).

La ausencia de una política comercial internacional flexible vinculada a la demanda económica hizo que se gastara en la concepción y la fabricación de productos poco competitivos en el mercado mundial (ordenadores personales, aparatos electrónicos y productos farmacéuticos). La apertura de las fronteras provocó el rechazo de los productos nacionales y, por consiguiente, los esfuerzos en I+D han sido de escasa utilidad.

Las prioridades en materia de investigación, establecidas en función de consideraciones políticas, se orientaron ante todo hacia objetivos militares, en tanto que las ciencias biológicas y médicas, la cibernética, las ciencias sociales y humanas se vieron afectadas por las limitaciones ideológicas y la falta de recursos.

La prioridad principal se asignó al sector académico y a la investigación y el desarrollo aplicados a la industria militar. Éstos recibieron un apoyo estatal a gran escala que revistió varias formas: una financiación presupuestaria directa, el suministro centralizado de equipo de investigación importado, la construcción de edificios modernos para los institutos más prestigiosos, asignaciones en divisas fuertes para misiones en el extranjero y la adquisición de literatura científica y privilegios oficialmente aprobados en salarios y aun en la duración de las vacaciones. En las unidades de investigación de la Academia de Ciencias y de defensa había una amplia infraestructura social para el suministro de vivienda, servicios médicos y de atención infantil, alimentos y bienes de consumo, mientras que los investigadores de otros sectores no tenían acceso a nada de ello. Por consiguiente, el empleo en esos dos sectores era mucho más prestigioso que en los institutos civiles de I+D o en los establecimientos de enseñanza superior. Esto a su vez contribuyó a atraer personal capacitado y se crearon escuelas de investigación reconocidas en muchos campos de la ciencia y la tecnología.

Todos esos factores provocaron una grave inercia en la organización de la investigación y un deseo de mantener estructuras institucionales obsoletas. Esto ha impedido re-

CUADRO 2
ÍNDICES DE CRECIMIENTO REAL DE INDICADORES
ECONÓMICOS CLAVE EN LOS PAÍSES DE LA CEI
(1994 como porcentaje de 1991)

	Producción PIB	Producción industrial	Inversión de capital	Índices de precios al consumo
Armenia	40	50	4	807 100
Azerbaiyán	46	53	113	236 900
Belarrús	65	68	47	320 700
Georgia	25	24	3	—
Kazakstán	57	52	29	561 500
Kirguistán	52	42	23	58 200
Moldavia	48	51	15	90 900
Rusia	61	56	39	74 200
Tayikistán	51	48	33	76 400
Turkmenistán	150 ¹	66	—	423 600
Ucrania	60	62	43	1 079 000
Uzbekistán	83	98	52	112 900
Promedio CEI	61	56	41	160 400

1. 1993, como porcentaje de 1991.
 — Datos no disponibles.

Fuente: Comité de Estadística de la CEI, 1995.

La situación económica general que reina en los países de la CEI ha influido en las tendencias del potencial de I+D. Los principales indicadores macroeconómicos (Cuadro 2) dan una idea muy clara de la recesión económica actual. Entre 1991 y 1994, el PNB de los países de la CEI disminuyó en un 39 % y la producción industrial en un 44 %. Los precios de los bienes de consumo se multiplicaron por 1.600 en promedio y a veces más aún en algunos países. El nivel de vida de la población se ha deteriorado considerablemente y millones de personas se encuentran por debajo del mínimo vital.

Según las estimaciones actuales, en 1994 el déficit presupuestario gubernamental en los países de la Comunidad representó entre el 5 y el 21 % del PNB; en Rusia, por ejemplo, éste ascendió al 13 % (Comité de Estadística de la CEI, 1995). La inversión continua en sectores no rentables, esto es, la agricultura y la industria militar, la necesidad de prestar apoyo a un número cada vez mayor de programas sociales y la imposibilidad de las empresas de hacer frente a sus compromisos financieros han complicado aún más la situación. En muchos casos, las dificultades económicas han sido exacerbadas por crisis políticas, conflictos étnicos y choques militares.

FINANCIACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN Y EL DESARROLLO

Todos esos problemas significan que ni los gobiernos ni las empresas son capaces de mantener la financiación de la investigación y el desarrollo en los niveles alcanzados anteriormente. Esto se agravó por los siguientes factores:

- Suspensión de los programas, la inversión de capital y los suministros de C&T centralizados en toda la Unión, rescisión de contratos de I+D entre los distintos institutos estatales y las empresas.
- Cargas crecientes para los presupuestos nacionales y, por consiguiente, disminución en términos reales de las asignaciones gubernamentales a los programas de I+D.
- Falta de interés en las inversiones a largo plazo por parte de las empresas y ausencia casi completa de demanda industrial de I+D.

accionar de forma oportuna a los cambios en el entorno y a la necesidad de una urgente transformación estructural.

TENDENCIAS GENERALES DURANTE EL PERÍODO DE TRANSICIÓN

La base científica y tecnológica de los países de la CEI está experimentando en la actualidad una profunda transformación para ajustarse a las condiciones del mercado. Los Estados de la ex URSS están elaborando sus propios sistemas de conformidad con los objetivos políticos y socioeconómicos nacionales y cada uno de ellos se está reestructurando a su manera. Comparten, empero, algunas características en cuanto a la conversión de sus sistemas de I+D debido a su experiencia histórica común.

■ Prestigio relativamente reducido del empleo en I+D y bajas remuneraciones, en particular comparadas con las del sector privado.

Por consiguiente, los países de la CEI están experimentando una reducción drástica de su base de investigación y desarrollo, acontecimiento sin precedentes en la historia de la ciencia y la tecnología en el siglo xx (Freeman, 1994).

Los problemas de financiación de la investigación y el desarrollo deben examinarse en el contexto del nuevo descenso de la investigación en las prioridades nacionales que expresan los indicadores decrecientes del esfuerzo en I+D. Medidos a precios constantes, los gastos de investigación y desarrollo en la CEI durante el periodo 1991-1993 disminuyeron en un 40-60 % por país.

En Rusia, los gastos de I+D calculados según las normas de la OCDE ascendieron a unos 1.313.600 millones de rublos en 1993 (Cuadro 3). Su crecimiento anual medio en 1989-1991 fue levemente superior al de la URSS para el mismo periodo (12,8 % frente a 11,7 %), pero inferior

a la tasa de inflación. Expresado en precios constantes de 1989, el gasto de I+D en 1993 representó sólo el 24,8 % del efectuado en 1990.

El aumento en el gasto de I+D se ha quedado atrás con respecto a los principales indicadores macroeconómicos. La parte del gasto de I+D en el PNB de Rusia disminuyó de un 2,03 % a un 0,81 % entre 1990 y 1993. Con respecto a los datos de la OCDE para este indicador, Rusia cayó por debajo de la media en el grupo de países con bajo potencial de I+D, como Irlanda, Islandia, España y Nueva Zelanda. En los otros países de la CEI, el porcentaje de la investigación y el desarrollo en el PNB fue aún menor (Gráfico 3).

A pesar de la profunda transformación institucional, el presupuesto gubernamental sigue siendo la fuente principal de financiación de la investigación y el desarrollo y prácticamente la única para la investigación básica. Si bien se ha acelerado el ritmo de la reforma económica, se sigue manteniendo el sistema de financiación sumamente centralizado de la investigación y el desarrollo. Los Estados no han logrado atraer la inversión privada en C&T. Entre-

CUADRO 3
VALOR DE LA INVESTIGACIÓN Y EL DESARROLLO POR PAÍS DE LA CEI (calculado a precios corrientes)

	1989 ¹	1990 ¹	1991 ¹	1992 ¹	1993 ²
Armenia	222,9	231,1	168,5	479,1	2 300,4 ¹
Azerbaiyán	117,0	140,7	194,3	974,5	1 074,2
Belarrús	853,0	862,0	1 097,8	7 480,4	94 636,5
Georgia	213,4	177,2	—	—	—
Kazakstán	321,2	326,0	425,2	2 855,1	91,7
Kirguistán	45,3	59,0	49,0	321,5	10,8
Moldavia	142,9	182,3	219,1	1 129,0	12,3
Rusia	18 348,5	18 371,3	23 269,6	173 448,6	1 445 416,1
Tayikistán	57,0	50,2	55,1	226,3	1 529,5
Turkmenistán	47,0	45,8	65,3	631,2	61,4
Ucrania	3 675,9	3 649,7	5 079,2	61 832,7	1 695 559,0
Uzbekistán	389,5	379,6	665,8	3 400,3	334 272,3

1. Millones de rublos.

2. Millones en moneda nacional.

— Datos no disponibles.

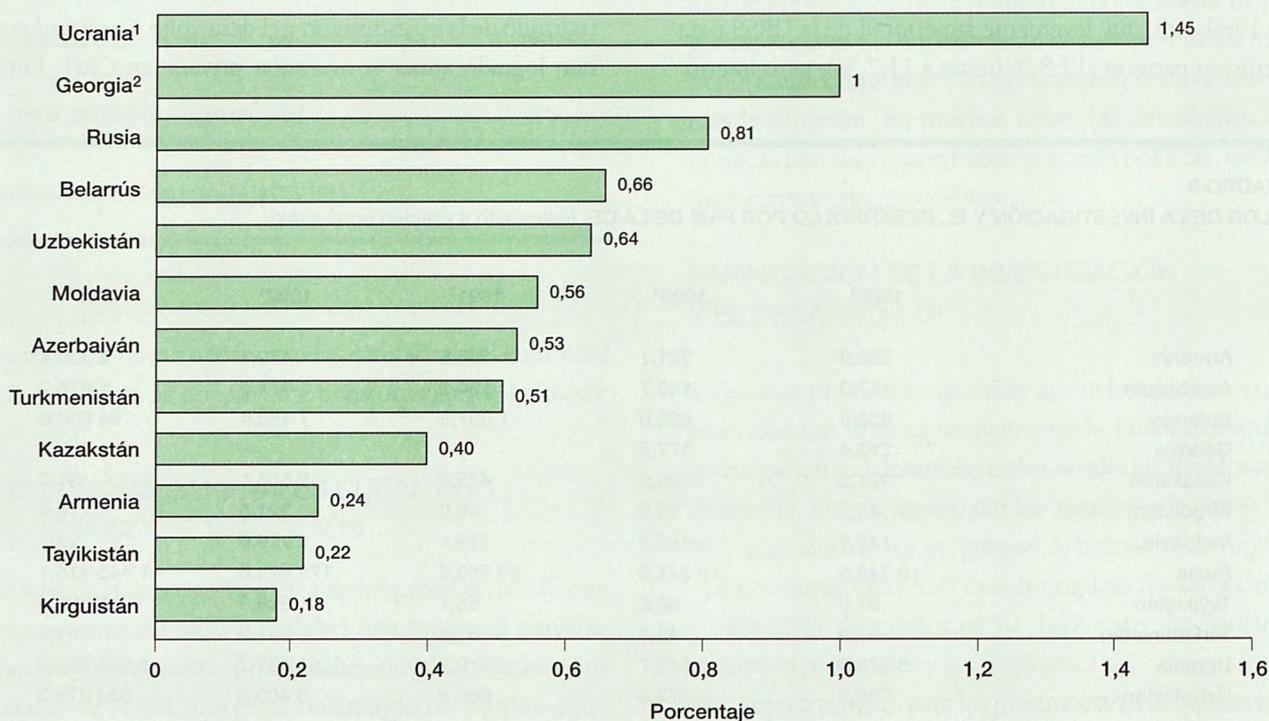
Fuente : Centro de Investigación Científica y Estadística, organismos nacionales de estadística.

CUADRO 4
GASTO I+D EN RUSIA¹

Gasto total de I+D	1990	1991	1992	1993
Millones de rublos actuales	13 077,7	19 990,7	140 590,8	1 313 556,7
Millones de rublos de 1989	10 898,1	7 196,1	2 350,4	2 699,9
Como porcentaje del PNB	2,03	1,54	0,78	0,81
En millones de dólares estadounidenses ²	23 945,0	20 168,2	9 569,9	6 412,4

1. Calculado por el autor según las normas de la OCDE.
2. Calculado sobre la base de las paridades anuales del poder adquisitivo.

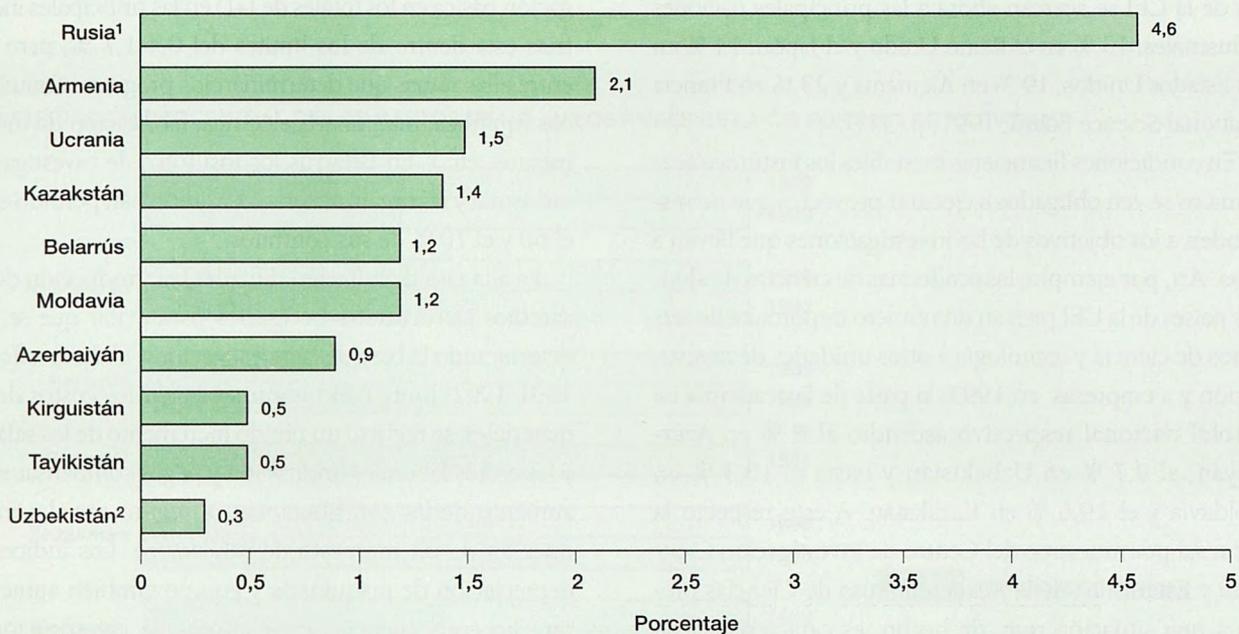
GRÁFICO 3
GASTOS DE I+D EN LOS PAÍSES DE LA CEI COMO PORCENTAJE DEL PNB, 1993



1. Parece sobrestimado. Según los datos de la Academia de Ciencias de Ucrania, la cifra era 0,7 % en 1993.
2. 1990.

Fuente: Cálculos del autor a partir de datos de los organismos nacionales de estadística.

GRÁFICO 4
ASIGNACIONES DESTINADAS A LA INVESTIGACIÓN Y EL DESARROLLO COMO PORCENTAJE DEL GASTO PRESUPUESTARIO GUBERNAMENTAL POR PAÍS, 1993



Nota: Datos no disponibles para Georgia y Turkmenistán.

1. Las asignaciones destinadas a la investigación y el desarrollo civiles en Rusia en 1993 representaron el 2,5 % del presupuesto gubernamental total.
2. 1991.

Fuente: Centro de Investigación Científica y Estadística, organismos nacionales de estadística y academias de ciencias.

tanto, los gobiernos no saben todavía realmente qué esperan de la investigación y el desarrollo y, por desgracia, el gasto en este sector no se considera una prioridad en las actuales políticas estructurales nacionales.

Los países de la CEI difieren en la parte de asignaciones destinadas a la investigación y el desarrollo dentro del presupuesto gubernamental total (Gráfico 4). Según este indicador, se pueden clasificar en cuatro subgrupos que reflejan la importancia relativa de la investigación y el desarrollo en las prioridades nacionales.

- Prioridad relativamente alta (Rusia).
- Prioridad mediana (Armenia, Ucrania, Kazakstán).
- Prioridad relativamente baja (Belarrús, Moldavia, Azerbaiyán).

- Prioridad insignificante (Kirguistán, Tayikistán, Uzbekistán).

En términos generales, el llamado «principio residual» de asignación de fondos presupuestarios a la investigación y el desarrollo que predominaba en la ex Unión Soviética (Gokhberg y Mindeli, 1993, p. 12) sigue siendo vigente en los países de la CEI.

A consecuencia de las crecientes presiones económicas a corto plazo, hay indicios en todos los sectores de un menor interés en la investigación y el desarrollo por parte de las empresas. Pero el hecho de que las academias de ciencias nacionales sigan recibiendo apoyo financiero del Estado, junto con la reducción de la demanda industrial de investigación aplicada, son las principales razones del

crecimiento relativo de la investigación básica: en la mayoría de los Estados de la CEI su parte del gasto nacional de I+D se multiplicó por 1,5 a 2 en promedio entre 1989 y 1993 (Gráfico 5). En relación con este indicador los países de la CEI se acercan ahora a las principales naciones industriales: 13 % en el Reino Unido y el Japón, 14 % en los Estados Unidos, 19 % en Alemania y 23 % en Francia (National Science Board, 1991, p. 344).

En condiciones financieras inestables los institutos académicos se ven obligados a ejecutar proyectos que no responden a los objetivos de las investigaciones que llevan a cabo. Así, por ejemplo, las academias de ciencias de algunos países de la CEI prestan un número importante de servicios de ciencia y tecnología a otras unidades de investigación y a empresas: en 1993, la parte de la academia en el total nacional respectivo ascendió al 8 % en Azerbaiyán, al 9,7 % en Uzbekistán y hasta el 18,3 % en Moldavia y el 19,6 % en Kazakstán. A este respecto la encuesta por muestreo del Centro de Investigación Científica y Estadística de la Academia Rusa de Ciencias presenta una situación que, de hecho, es característica de otros países de la CEI. Así, según los datos de la encuesta, en el 60 % de los institutos de la Academia un 10 % de la investigación no corresponde al perfil de su actividad y en el 40 % restante el porcentaje es de aproximadamente un 25 %.

Por lo que se refiere a la enseñanza superior, los Estados de la CEI aplican distintas políticas. En Azerbaiyán, Kazakstán, Moldavia y Rusia las universidades están dispuestas a aumentar su participación en la investigación básica en términos absolutos y relativos. Esto refleja un apoyo presupuestario para la investigación básica en las universidades, mientras que los establecimientos de enseñanza superior de ingeniería se financian en menor grado. Al mismo tiempo, los establecimientos de enseñanza superior de Belarrús, Ucrania y Uzbekistán están por lo general más orientados hacia la investigación aplicada e intentan satisfacer las necesidades de la industria.

El propio sector industrial de I+D es el que más ha sufrido de los cambios en el mercado. La menor demanda industrial de I+D a largo plazo ha contribuido a la pérdida

de influencia de este sector en las actividades de I+D. En Rusia, por primera vez en mucho tiempo, la contribución de los organismos industriales de I+D disminuyó del 90,3 % en 1991 al 86 % en 1993. La parte de la investigación básica en los totales de I+D en las principales industrias está dentro de los límites del 0,4-1,7 %, pero hay entre ellas ramas que determinan los progresos tecnológicos (química, maquinaria eléctrica, fabricación de instrumentos, etc.). En Belarrús los institutos de investigación industrial y las organizaciones de diseño han perdido entre el 60 y el 70 % de sus contratos.

La alta tasa de inflación dificulta la introducción de los cambios estructurales necesarios para evitar que se siga deteriorando la base de la investigación y el desarrollo. En 1991-1992, junto con los aumentos en los costos de los materiales, se registró un rápido incremento de los salarios y los costos laborales (indización y pagos compensatorios, aumento de las contribuciones al seguro social e introducción de un impuesto de jubilación). Los índices de depreciación de maquinaria y equipo también aumentaron. En consecuencia, los institutos de investigación se encontraron a veces sin fondos para sufragar los gastos corrientes.

Los esfuerzos para compensar el brusco incremento del costo de la vida mediante el aumento de los salarios han resultado infructuosos y se han hecho, en todo caso, en detrimento de otras partidas de gastos, en particular los gastos de material. En 1992, en Rusia, los salarios globales alcanzaron un 38 % de los gastos corrientes de I+D (el 48,9 % si se tienen en cuenta las cuotas al seguro social).

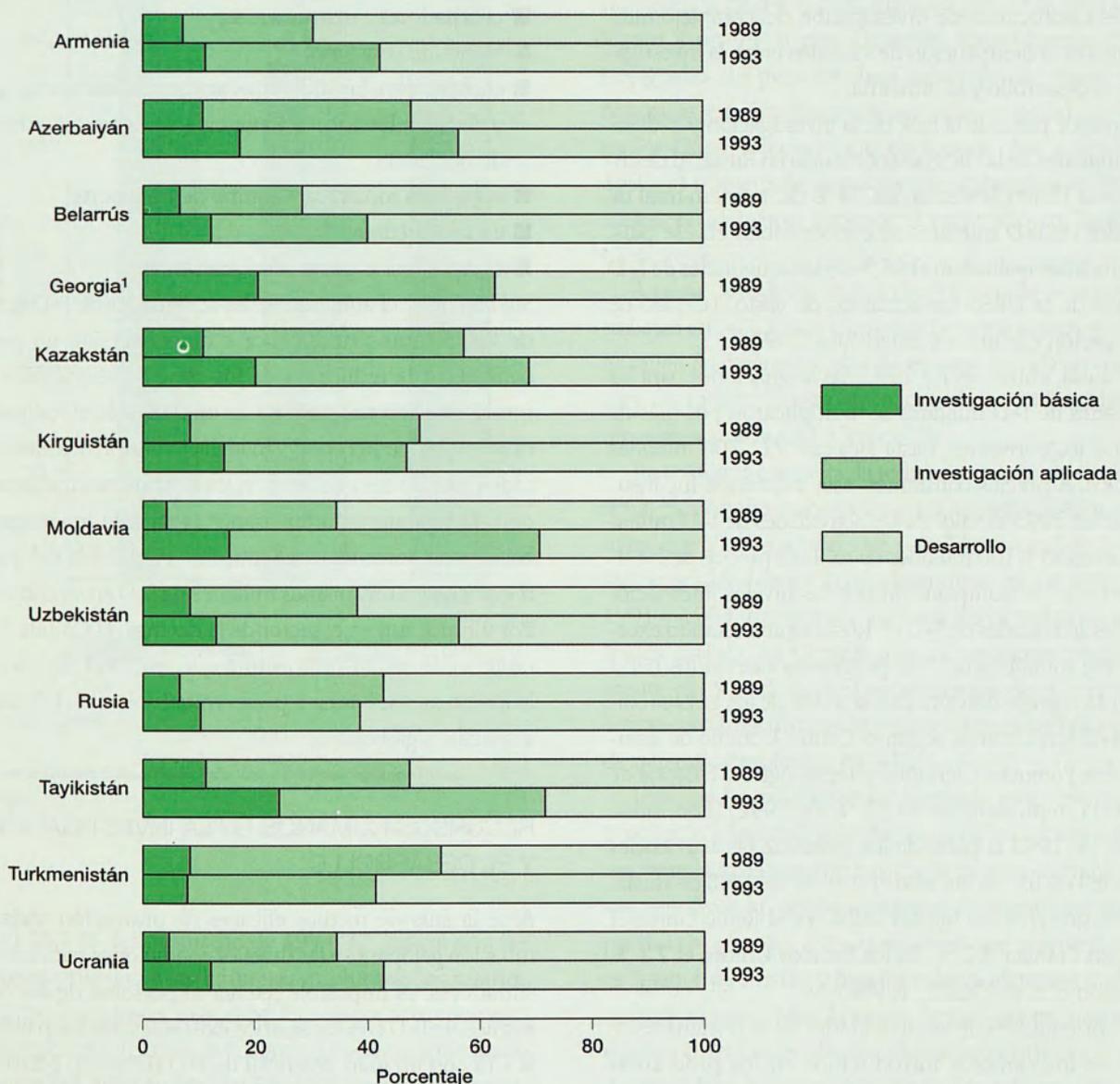
El déficit de divisas extranjeras y la baja del tipo de cambio del rublo y de otras monedas nacionales de la CEI han reducido prácticamente a cero la importación de equipo de investigación y la adquisición de literatura científica y tecnológica extranjera. Muchos institutos de investigación avanzada de gran densidad de capital, con equipo oneroso e instalaciones modernas, se han encontrado en una situación sumamente difícil. La ausencia de los instrumentos y los materiales necesarios han obligado a veces a cancelar proyectos de investigación.

CONVERSIÓN DE LA INVESTIGACIÓN MILITAR

Los principales países de la CEI (Rusia, Ucrania, Belarrús y Kazakstán) han iniciado la conversión de la industria militar y de las actividades de I+D correspondientes. Esto

ha influido en la disminución de los totales de I+D industriales. En esos Estados, a principios de los años 1990, entre el 70 y el 75 % de los totales de I+D se dedicaron a aplicaciones militares.

GRÁFICO 5
DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LOS GASTOS DE I+D EN LOS PAÍSES DE LA CEI POR TIPO DE ACTIVIDAD



1. Datos no disponibles para 1993.

Fuente: Centro de Investigación Científica y Estadística, organismos nacionales de estadística.

La reducción en la parte de investigación y desarrollo en los gastos militares totales no puede pasar desapercibida. Entre 1989 y 1993 ésta disminuyó del 19,8 % (URSS) a aproximadamente un 7,2 % (Rusia). La base de la investigación y el desarrollo militares se ha reducido más bruscamente que la producción militar en sí. La manera caótica y poco planificada en que se ha llevado a cabo la conversión pone en peligro la supervivencia de muchas grandes instituciones de investigación del complejo militar y agrava la desaparición de vínculos entre la investigación y el desarrollo y la industria.

La mayor parte de la base de la investigación y el desarrollo militares de la URSS se encontraba en Rusia. Al desintegrarse la Unión Soviética, un 74 % del número total de unidades de I+D militares se concentraban en ese país. Esas unidades realizaban el 88 % de las actividades de I+D militares de la URSS (en términos de gasto) (Centro de Investigación Científica y Estadística, 1993a).

En Rusia, entre 1991 y 1993, las asignaciones para las actividades de I+D militares se multiplicaron por más de 57 a precios corrientes, hasta alcanzar 711.700 millones de rublos. A precios constantes, esta indización fue insuficiente: en 1993 el valor de las actividades de I+D militares no excedió 4.100 millones de rublos a precios de 1991. No obstante, en comparación con los niveles internacionales, las actividades de I+D en Rusia siguen estando excesivamente militarizadas. Los programas orientados hacia la defensa representan aún casi la mitad de los gastos totales de I+D (en Ucrania, según el Centro Ucraino de Estudios sobre Potencial Científico y Tecnológico e Historia de la Ciencia, representaban el 31 % en 1992). Por consiguiente, en 1993 la parte de los gastos de las actividades civiles de I+D fue de tan sólo el 0,44 % del PNB de Rusia, mientras que en Italia fue del 1,3 %, en el Reino Unido el 1,7 %, en Francia el 2 %, en los Estados Unidos el 2,1 % y en Japón el 3 % (OCDE, 1994a).

La reorientación de las actividades de I+D militares se refleja en los cambios introducidos en los programas llevados a cabo por las instituciones de I+D orientadas hacia la defensa (Gráfico 6). Compiten con las unidades civiles de I+D, más débiles, para la financiación y

los contratos, y parecen haber empezado a sustituirlas en el mercado.

En Rusia, las áreas prioritarias para la aplicación civil de las capacidades de investigación militar son las siguientes:

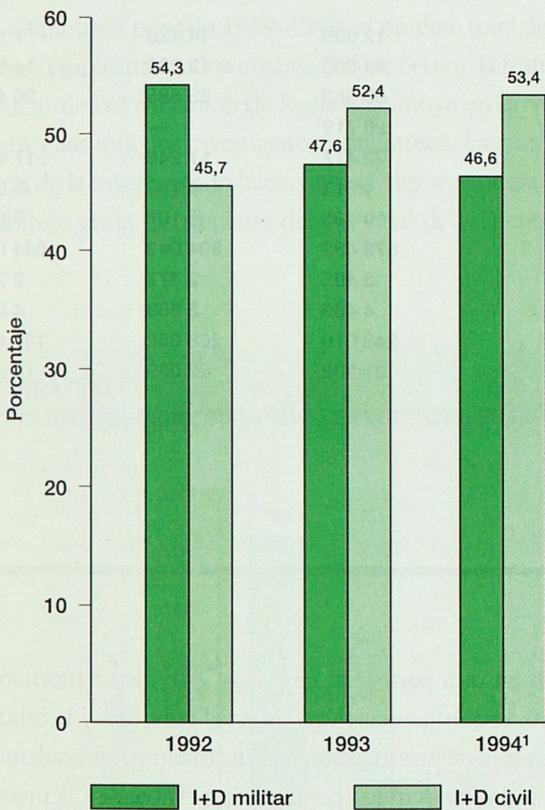
- aviación y navegación espacial civiles;
- nuevos materiales y tecnologías;
- sistemas de información y de telecomunicaciones;
- ordenadores e instrumentos;
- bienes de consumo;
- equipos para las industrias agrícola, alimentaria, textil y de la confección, el comercio y los servicios públicos de hostelería;
- ingeniería mecánica y equipo de transporte;
- equipo médico;
- equipo para la protección ambiental.

Sin embargo, el aumento de las actividades de I+D dentro de los institutos en el proceso de conversión no puede compensar la reducción de los programas militares. La transformación del perfil de las unidades de investigación militares exige tiempo y financiación suplementaria. En todo caso, las restricciones en los organismos industriales de I+D han afectado en primer lugar a la investigación básica y su porcentaje de reducción es el doble del que se registra en los organismos militares de I+D en su conjunto. Por último, aun en el sector de la defensa, el Comité Estatal Ruso de Estadísticas estimó que, en 1994, la parte de la investigación básica representó tan sólo el 1,1 % de las actividades globales de I+D.

RECURSOS HUMANOS EN LA INVESTIGACIÓN Y EL DESARROLLO

Ante la falta de medios eficaces de protección social, la inflación galopante y las difíciles condiciones para los consumidores, es imposible retener al personal de los organismos de I+D con los salarios existentes. En los países de la CEI con un gran potencial de I+D (Ucrania, Belarrús y Kazakstán), los salarios en el sector de I+D eran, en 1993, entre 5 y 7 veces inferiores a los de la economía nacional en su conjunto; en Rusia, en particular, representaban tan

GRÁFICO 6
GASTOS DE I+D E INSTITUCIONES DE I+D DE LA
INDUSTRIA MILITAR DE RUSIA POR OBJETIVOS
 (en porcentajes)



1. Estimaciones.

Fuente: Comité Estatal de Estadísticas de la Federación de Rusia (1995).

sólo el 76,7 % del promedio de 1994. En los bancos, las empresas privadas y las empresas conjuntas, los salarios son entre 2 y 3 veces más altos. En un contexto de posibilidades crecientes para los negocios y el renacimiento de la propiedad privada, las actividades empresariales resultan cada vez más atractivas para las personas competentes y emprendedoras. Muchos de los altos directivos de las

grandes empresas (bancos, grupos industriales, empresas conjuntas, compañías de seguros, etc.) son titulares de diplomas de doctorado.

El paso hacia el sector privado se ha convertido en una característica dominante de la reducción del empleo en I+D en los países de la CEI. Entre 1991 y 1993 este paso alcanzó entre un 20 y un 40 % (por país) y las cifras nacionales iban de un 3 % para Azerbaiyán y un 8 % para Turkmenistán, a un 54 % para Armenia, un 53 % para Uzbekistán y un 44 % para Belarrús. Estas disminuciones desiguales de personal han agravado las variaciones históricas en el número de personas empleadas en I+D en los Estados recién independizados. Así, a finales de 1993, el número de personas que trabajaban en I+D en Rusia era 310 veces superior al registrado en Tayikistán (Cuadro 5).

A pesar de la disminución del número de personas que trabajan en I+D, Rusia, Ucrania y Belarrús siguen teniendo un nivel relativamente alto de empleo en I+D en relación con los totales de empleo nacionales, comparados con otros países de la CEI (Gráfico 7).

En términos generales, la reducción a gran escala de personal ha afectado menos a las academias de ciencias nacionales que a otros sectores de I+D. El personal de I+D del sector académico en Rusia disminuyó en un 9 % entre 1991 y 1993, frente a un 33 % en los organismos industriales de I+D; en Ucrania esas cifras fueron respectivamente del 9 y el 28 %. Las academias de Azerbaiyán y Turkmenistán se distinguieron por un aumento de número de personas empleadas en I+D.

Este cuadro relativamente favorable es el resultado de la política de las academias de preservar los recursos humanos para la investigación básica. Al parecer, la mayoría de los científicos no tiene intenciones de abandonar sus respectivas academias, pues consideran que la investigación es la labor de su vida y han logrado ya algunos resultados científicos que valen la pena. Según las encuestas por muestreo del Centro de Investigación Científica y Estadística llevadas a cabo en los institutos de investigación de la Academia Rusa de Ciencias, casi el 85 % de los investigadores académicos interrogados tenían previsto continuar

CUADRO 5
PERSONAL DE I+D POR PAÍSES DE LA CEI

	Total (investigadores, técnicos, personal de apoyo)			Investigadores solamente		
	1991	1992	1993	1991	1992	1993
Armenia	22 816	20 863	10 596	12 699	14 129	7 106
Azerbaiyán	22 701	19 036	21 975	14 800	12 236	14 549
Belarrús	90 999	58 278	51 181	50 963	33 685	30 474
Georgia	30 345 ¹	—	—	20 719 ¹	—	—
Kazakstán	40 879	29 145	30 383	22 417	17 248	17 435
Kirguistán	8 705	7 405	5 897	4 912	4 163	3 826
Moldavia	19 351	14 317	12 098	10 585	8 107	6 828
Rusia	1 677 784	1 532 618	1 315 008	878 482	804 043	644 881
Tayikistán	6 892	5 002	4 248	3 493	2 777	2 267
Turkmenistán	7 971	6 517	7 355	4 485	3 663	4 272
Ucrania	449 782	380 797	345 849	243 019	208 058	189 445
Uzbekistán	70 405	45 732	33 685	31 202	22 039	15 724

1. 1990.
— Datos no disponibles.

Fuente: Centro de Investigación Científica y Estadística.

su carrera en la Academia y sólo un 2 % de los encuestados manifestaron su intención de abandonarla.

El empleo en las academias resulta atractivo para los investigadores por la posibilidad de combinar su actividad en ellas con un segundo empleo en el sector privado. El análisis de los datos de las encuestas antes mencionadas muestra el aumento del porcentaje de investigadores de la Academia empleados a tiempo parcial en las empresas privadas: de un 35 % en 1992 a un 45 % en 1993. El 24 % de los investigadores académicos interrogados trabajaban también como profesores universitarios y el 11 % en organismos industriales de I+D.

Este factor explica en cierta medida la aparente salud estadística del empleo en el sector académico. A fin de preservar las unidades de investigación, los jefes conceden a veces a su personal permisos de larga duración sin sueldo o empleos a tiempo parcial. Esto permite a los investigadores mantener su puesto nominal, cuando de hecho tra-

bajan en otra parte. Sin embargo, esto ejerce inevitablemente una influencia negativa en el volumen y la calidad del trabajo de investigación real efectuado en las academias. Es a todas luces difícil combinar un empleo en la investigación básica con una actividad comercial y esto explica por qué este tipo de evolución es el que más pone en peligro la investigación básica.

En ausencia de medidas estratégicas destinadas a introducir de forma urgente los cambios estructurales necesarios, la reducción del tamaño de los organismos de I+D y la formación de un mercado de trabajo de C&T se han generalizado. La mayor parte del personal que abandona los organismos de I+D lo hace de forma voluntaria. Así, en 1993 el personal sobrante sólo representaba en Rusia el 8 % del egreso total del sector de I+D.

La reducción general de personal de I+D ha afectado sobre todo a los técnicos y al personal de apoyo (salvo en Azerbaiyán). Esto puede explicarse por el afán de reducir

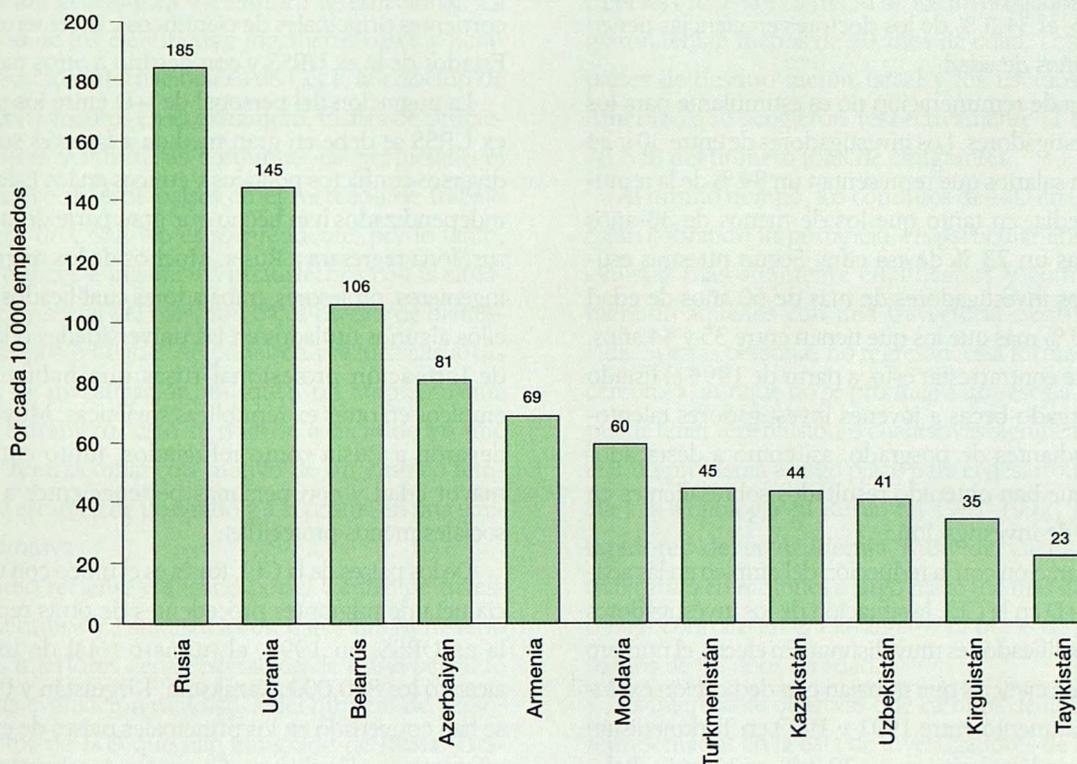
los gastos generales y el equipo de I+D. No es sorprendente que esto haya provocado una disminución de la eficacia de los investigadores y un deterioro de sus condiciones de trabajo. Al mismo tiempo, los representantes de las dos categorías afectadas se adaptan más fácilmente a la nueva situación económica.

Durante el periodo 1989-1994, el número total de personas empleadas en los organismos de I+D de la industria militar de la Federación de Rusia disminuyó en un 40 %, entre ellas muchos investigadores talentosos. La reorientación de la investigación hacia fines civiles se acompañó de cambios en la distribución del personal de I+D entre los

programas civiles y militares. Según las estimaciones disponibles, el 48,4 % del personal de las unidades de I+D en conversión trabajaba en programas militares, frente a un 51,6 % en programas civiles. Sin embargo, las posibilidades de que éstos encuentren nuevos empleos son muy limitadas; sólo el 25 % del personal retirado de las unidades de I+D militares recibió efectivamente ofertas de trabajo en las mismas organizaciones. (*Economist*, Moscú, 1995; Comité Estatal de Estadísticas de la Federación de Rusia 1995, *Information Statistical Bulletin*, n.º 1, págs. 3-4.)

El elemento decisivo en esta cuestión de recursos humanos es el reducido ingreso y el creciente egreso de jóvenes

GRÁFICO 7
PARTE DEL PERSONAL DE I+D EN LOS TOTALES DE EMPLEO NACIONALES POR PAÍSES, 1993



Nota: Datos no disponibles para Georgia.

Fuente: Centro de Investigación Científica y Estadística.

investigadores, aunado al escaso interés de los jóvenes por las carreras relacionadas con la investigación y el desarrollo. Se ha registrado, por lo tanto, una clara tendencia al envejecimiento del personal de I+D, debido a la reducción del grupo de edad de entre 30 y 40 años. A principios de 1994, el 37,6 % de todo el personal de I+D en Rusia tenía menos de 40 años de edad, pero entre los investigadores altamente cualificados esta proporción era inferior: un 2,8 % y un 19,9 % entre los doctores en ciencias y los aspirantes, respectivamente. Un 40,8 % de los doctores en ciencias están en edad de jubilarse. La edad media de los miembros de la Academia Rusa de Ciencias—los académicos— es de entre 63 años (los economistas) y 72 años (los especialistas en relaciones internacionales). Aun en los campos científicos y tecnológicos más dinámicos como la física nuclear, la informática y la biología, la edad media de los académicos se sitúa entre los 68 y los 69 años. En otros países de la CEI la situación es similar; en Belarrús, por ejemplo, el 34,5 % de los doctores en ciencias tienen más de 60 años de edad.

El sistema de remuneración no es estimulante para los jóvenes investigadores. Los investigadores de entre 30 y 34 años reciben salarios que representan un 84 % de la remuneración media, en tanto que los de menos de 30 años ganan apenas un 73 % de esa cifra. Según nuestras estimaciones, los investigadores de más de 60 años de edad ganan un 50 % más que los que tienen entre 35 y 44 años. Para tratar de contrarrestar esto, a partir de 1994 el Estado ruso ha otorgado becas a jóvenes investigadores talentosos y a estudiantes de posgrado, así como a destacados científicos que han obtenido resultados sobresalientes en sus trabajos de investigación.

En comparación con la reducción del empleo en las actividades de I+D en la CEI, la situación de los investigadores altamente cualificados es muy distinta. En efecto, el número de doctores en ciencias que trabajan con dedicación exclusiva en I+D aumentó entre 1991 y 1993 en Turkmenistán en un 75 %, en Kazakstán en un 30,3 %, en Ucrania, Belarrús y Moldavia entre un 16 y un 18 % y en Rusia en un 12,5 %. Entre los factores que contribuyeron a ello cabe destacar los procedimientos simplificados de presentación de

tesis, el menor número de requisitos y el gran prestigio que siguen teniendo los títulos doctorales. Por contraste, muchos aspirantes a doctores en ciencias, más jóvenes y dinámicos, han abandonado el sector de I+D.

Durante el periodo 1991-1993, las disminuciones desiguales en las categorías de personal de I+D y el incremento absoluto del número de doctores investigadores han llevado en algunos Estados a un aumento de entre el 3 y el 6 % de la parte del personal con títulos superiores. Sólo en Armenia y Kirguistán el número de científicos titulares de diplomas disminuyó en términos tanto relativos como absolutos.

La migración de científicos

Los cambios políticos, económicos y sociales ocurridos en los países de la CEI desde la desintegración de la URSS han suscitado una nueva tendencia importante a la migración internacional. Hay que considerar a este respecto dos corrientes principales de científicos e ingenieros: entre los Estados de la ex URSS y con destino a otros países.

La migración del personal de I+D entre los países de la ex URSS se debe en gran medida a factores sociales. Los diversos conflictos políticos y étnicos en los Estados recién independizados han hecho que gran parte de la población rusa regresara a Rusia. Muchos de los migrantes eran ingenieros, profesores, trabajadores cualificados, etc., entre ellos algunos titulados en las universidades o las escuelas de formación profesional rusas que habían aceptado empleos en otras ex repúblicas soviéticas. Muy a menudo llegaron a Rusia como refugiados, junto con gente de mayor edad y con personas pertenecientes a categorías sociales menos protegidas.

De los países de la CEI, Rusia es el único con una afluencia neta de migrantes procedentes de otras repúblicas de la ex URSS; en 1994, el número total de inmigrantes alcanzó los 800.000. Kazakstán, Kirguistán y Uzbekistán, se han convertido en los principales países de emigración, mientras que Tayikistán, Georgia y Azerbaiyán, debido a los conflictos políticos y militares, ocupan un segundo lugar a este respecto. En muchos casos, los problemas nacionales o étnicos afectan también a la población de las

nacionalidades autóctonas que engrosan a su vez las filas de inmigrantes que llegan a Rusia. Cabe señalar que un escaso número de inmigrantes han encontrado en Rusia empleos relacionados con la ciencia y la tecnología.

Los investigadores en C&T, que constituyen el peldaño más alto del escalafón de I+D, están sintiendo la influencia de la migración internacional de científicos e ingenieros y de otros tipos de «fuga de cerebros» externa. Durante decenios la ex URSS, país que ocupaba el tercer lugar mundial en cuanto a población, no participó en los movimientos migratorios internacionales. Sin embargo, desde que se simplificaron los trámites para emigrar en el marco de la política de derechos humanos iniciada por la Unión Soviética en 1985-1986, el país ha empezado a abrirse a la migración.

La «fuga de cerebros» externa es especialmente intensa en Rusia y Ucrania, que se están abriendo cada vez más a la cooperación económica y científica internacional. La participación de los científicos e ingenieros rusos y ucranios en proyectos internacionales de C&T, la creación de empresas con vínculos en el extranjero, filiales de propiedad extranjera y empresas conjuntas ha propiciado el ingreso efectivo de esos países en el mercado de trabajo internacional de C&T. No es sorprendente, por lo tanto, que los científicos e ingenieros insatisfechos con la situación política y social del país, con bajos niveles de bienestar y escasas posibilidades de poner en práctica sus ideas en materia de investigación, busquen un empleo o una beca en el extranjero. Esto se traduce a menudo en una migración internacional con motivo de un empleo temporal o para estudios de posgrado y, a la postre, en una emigración definitiva.

Un estudio reciente realizado por el Centro de Investigación Científica y Estadística con datos del Ministerio de Asuntos Interiores de la Federación de Rusia permitió efectuar una evaluación estadística del número de personas del sector de I+D que han emigrado de Rusia (Gráfico 8).

Los emigrantes representaron solamente el 0,6 % del egreso total de personal del sector de I+D. Esto parece indicar que el fenómeno de «fuga de cerebros» no ha

cobrado aún grandes proporciones. La mayor parte de la emigración responde, como antes, a factores étnicos; el mercado de trabajo desempeña por ahora un papel subsidiario.

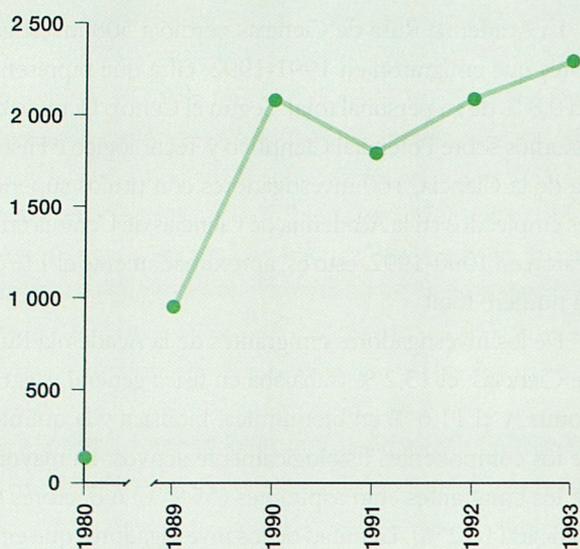
La Academia Rusa de Ciencias perdió a 508 investigadores que emigraron en 1991-1992, cifra que representa un 0,8 % de su personal total. Según el Centro Ucraino de Estudios sobre Potencial Científico y Tecnológico e Historia de la Ciencia, 160 investigadores con títulos superiores empleados en la Academia de Ciencias de Ucrania emigraron en 1990-1992, esto es, aproximadamente el 1 % de su número total.

De los investigadores emigrantes de la Academia Rusa de Ciencias, el 13,2 % trabajaba en física general y astronomía, y el 11,6 % en bioquímica, biofísica y la química de los componentes fisiológicamente activos. La mayoría de los emigrantes eran aspirantes (55,9 %) o doctores en ciencias (16,2 %). La mitad de los investigadores que emigraron tenían menos de 40 años de edad. Los principales países de destino fueron Israel y los Estados Unidos de América, que acogieron respectivamente al 42,1 % y al 38,6 % del número total de emigrantes.

Al mismo tiempo, los contratos de I+D en el extranjero están cobrando importancia, en particular entre los especialistas más altamente cualificados y competitivos, a menudo aquellos con una trayectoria científica reconocida. Si estas personas no regresan, esta forma de «fuga de cerebros», aunque no se produce a una escala importante, puede tener repercusiones cualitativas significativas y plantear un problema a largo plazo para el desarrollo de la ciencia y la tecnología en Rusia. En 1991-1992, 1.701 investigadores de la Academia Rusa de Ciencias estaban trabajando en misiones a largo plazo (de más de seis meses) o bajo contrato en el extranjero. El 60 % de éstos tenían menos de 40 años de edad.

Es interesante observar qué campos de la ciencia están representados en la lista de investigadores de la Academia Rusa de Ciencias que trabajan temporalmente en el extranjero. Las matemáticas son el principal (12,1 %), seguidas de la bioquímica y la biofísica (9,2 %), la física nuclear (4,9 %) y la física general y la astronomía (4,1 %). La mayo-

GRÁFICO 8
NÚMERO DE PERSONAS DEL SECTOR DE I+D
QUE HAN EMIGRADO DE RUSIA



Fuente: Centro de Investigación Científica y Estadística (1995).

ría de ellos trabajan en los Estados Unidos (38,2 %), y también en Alemania (16,2 %), Francia (8,9 %), el Reino Unido (5,7 %), Canadá (5,2 %) y Japón (4,1 %).

ENSEÑANZA CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

En la URSS se había establecido una amplia red de instituciones de enseñanza superior que, en principio, brindaban igual acceso a ese nivel de enseñanza a los ciudadanos de todas las repúblicas de la Unión. A fines de 1991 había 951 instituciones de este tipo con una matrícula total de 5.079.800 estudiantes (incluidos los Estados bálticos).

La desintegración de la Unión Soviética provocó la ruptura de los nexos existentes y una necesidad de división del trabajo en la enseñanza científica y tecnológica entre los países de la ex URSS. Los Estados de la CEI tuvieron que incrementar sus propias capacidades de enseñanza científica y tecnológica y de formación de especialistas alta-

mente cualificados para responder a las demandas nacionales. Todos los países de la CEI, salvo Armenia, han logrado de hecho reforzar sus redes nacionales de instituciones públicas de enseñanza superior: sólo en 1993 se crearon 40 nuevos establecimientos, entre ellos algunos especializados en economía (Kirguistán 1, Moldavia 1, Rusia 1, Tayikistán 2 y Uzbekistán 1), derecho (Kazakstán 2), industria y construcción (Kazakstán 2, Kirguistán 5, Rusia 4), agricultura (Rusia 2, Ucrania 1), transporte (Turkmenistán 1) y teología (Moldavia 1). Se abrieron nuevas universidades de tipo general en Kirguistán (2) y Rusia (3); se crearon escuelas militares y academias de policía en Belarrús y Tayikistán. A principios del año académico 1993-1994 había 999 establecimientos de enseñanza superior en la CEI (Cuadro 6).

Cabe señalar que la enseñanza superior sigue gozando de mucho prestigio entre la población. A pesar de la crisis, la competencia por los puestos en las universidades y escuelas ha permanecido relativamente estable; en Kirguistán, Rusia y Uzbekistán incluso aumentó desde 1985.

El número de estudiantes por 10.000 habitantes está disminuyendo en casi todos los países de la CEI, salvo en algunos como Rusia (Gráfico 9), Belarrús, Georgia, Kazakstán y Ucrania, cuyos respectivos indicadores oscilan entre 160 y 170 (Cuadro 6) y se equiparan con los de algunos países de la OCDE (véase OCDE, 1994b, p. 52).

En la URSS la enseñanza superior se orientaba hacia la formación masiva de especialistas. Por consiguiente, la enseñanza a tiempo parcial (de noche, por ejemplo) y a distancia ocupaban un lugar importante (llegando a representar hasta un 46 % de la matrícula total de la enseñanza superior). Evidentemente, estas formas de enseñanza no pueden proporcionar la calidad pedagógica necesaria y su reducción ha provocado en la CEI, en 1991-1993, una disminución general del número de estudiantes de enseñanza superior.

Durante ese periodo, el ingreso en establecimientos de enseñanza superior a tiempo parcial y a distancia ha disminuido considerablemente en todos los Estados recién independizados (salvo en Tayikistán). Los cursos a tiempo parcial disminuyeron 4,2 veces en Belarrús, 3,8 veces en

Uzbekistán y en una tercera parte en Kazakstán y Rusia. Armenia y Moldavia suprimieron los cursos nocturnos en los establecimientos de enseñanza superior. Por ahora, la proporción más alta de estudiantes a tiempo parcial en la matrícula de la enseñanza superior se registra en Azerbaiyán (11 %), Georgia (9 %), Uzbekistán (8 %) y Rusia (7 %). En algunos países sigue habiendo una proporción alta y creciente de estudiantes de enseñanza a distancia, sobre todo en Azerbaiyán, Tayikistán, Georgia y Uzbekistán (31-37 %).

Otro aspecto importante de la enseñanza superior en la URSS era la prioridad concedida a la ingeniería. La matrícula en los establecimientos de enseñanza superior de la industria, el comercio, el transporte y las comunicaciones representaba aproximadamente el 42 % del total de la Unión. Por otro lado, el porcentaje de titulados en altas tecnologías era bastante reducido.

Si bien el número de ingresados disminuyó de forma absoluta en los países de la CEI, las distintas prioridades nacionales de esos países hicieron que, durante el periodo 1991-1993, este número aumentase en determinados cam-

pos de estudio. A fin de promover el desarrollo de la industria, la construcción y la agricultura nacionales, los gobiernos de Asia Central aumentaron el número de ingresos en las escuelas correspondientes. Sin embargo, en Rusia, junto con las recientes tendencias al ingreso en los establecimientos superiores de economía, derecho y agricultura, sigue habiendo un creciente interés por la enseñanza universitaria «tradicional». Las cifras de ingreso en las universidades rusas han aumentado regularmente desde fines de los años 1970, lo que confirma que la enseñanza superior universitaria sigue manteniendo en Rusia su gran prestigio histórico.

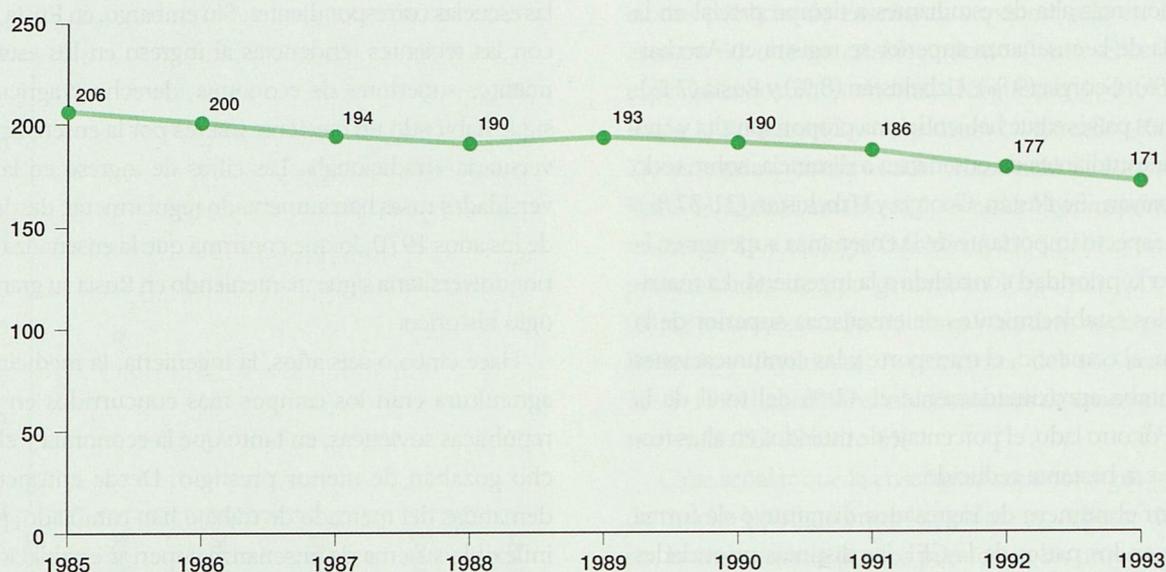
Hace cinco o seis años, la ingeniería, la medicina y la agricultura eran los campos más concurridos en las ex repúblicas soviéticas, en tanto que la economía y el derecho gozaban de menor prestigio. Desde entonces, las demandas del mercado de trabajo han cambiado, pero el inflexible sistema de enseñanza superior establecido por una planificación centralizada no ha tenido la capacidad financiera y administrativa suficiente de responder de

CUADRO 6
PRINCIPALES INDICADORES DE ENSEÑANZA SUPERIOR POR PAÍSES DE LA CEI, 1993-1994

	N.º de establecimientos de enseñanza superior	Matrícula (miles)	Ingresados (miles)	Egresados (miles)	Matrícula por 10 000 habitantes
Armenia	14	46,5	4,2	12,1	124
Azerbaiyán	23	94,3	13,6	18,8	127
Belarrús	38	175,4	34,4	35,8	169
Georgia	23	91,1	12,5	14,9	168
Kazakstán	68	272,1	54,6	49,1	161
Kirguistán	21	52,3	11,3	10,0	117
Moldavia	17	46,9	10,2	9,0	108
Rusia	548	2 542,9	543,5	443,6	171
Tayikistán	22	69,0	16,8	13,2	123
Turkmenistán	11	38,9	7,8	9,2	89
Ucrania	159	829,2	170,0	153,5	159
Uzbekistán	55	272,3	28,7	63,0	123

Fuente: Centro de Investigación Científica y Estadística, organismos nacionales de estadística.

GRÁFICO 9
TENDENCIA DE LA MATRÍCULA DE LA ENSEÑANZA SUPERIOR EN RUSIA POR CADA 10.000 HABITANTES, 1985-1993



Fuente: Centro de Investigación Científica y Estadística.

forma adecuada. Así, el número de titulados de la enseñanza superior en ingeniería y medicina (incluidos la cultura física y el deporte) en la CEI aumentó en 1991-1993 en un 14-15 % (frente a un promedio del 11 %), mientras que disminuyó en un 16 % en economía y derecho.

En 1993, en Rusia, por ejemplo, debido a las discrepancias entre las necesidades del mercado de trabajo y la disponibilidad de titulados, el 17,6 % de los titulados no recibieron una oferta de trabajo de empleadores a través de los establecimientos de enseñanza superior, como había ocurrido durante decenios. Además, el 25,7 % de los titulados rechazaron las ofertas y prefirieron buscar ellos mismos empleos mejor pagados y de mayor prestigio, sobre todo en el sector privado. Entre estos últimos había titulados de áreas temáticas modernas y generales requeridas por el mercado, esto es, un 30-33 % de todos los titulados en economía, humanidades, ciencias naturales, ingeniería

radiotécnica y telecomunicaciones, informática y sistemas de control automatizados.

Dadas las tendencias actuales en la enseñanza superior, cabe prever nuevas reducciones en el ingreso de personal cualificado en el sector de I+D. En la URSS, en 1976-1980, la proporción de titulados con intenciones de trabajar como investigadores era del 6 %, pero en 1986-1990 este porcentaje se redujo al 2 %. En 1993, sólo 1.012 titulados empezaron a trabajar en la Academia Rusa de Ciencias, cuando en 1989 eran 3.300.

En respuesta al nuevo desafío planteado por la transición hacia el mercado y las actuales dificultades económicas, financieras y sociales, los cambios en el sistema de enseñanza superior de la CEI se centran en los aspectos siguientes:

- La creación de universidades privadas en competencia con las públicas. En 1993, eran unas 200 en Rusia, pero menos de la mitad (78) disponían de la certificación

oficial de que impartían enseñanza según las normas establecidas. En 1993, las universidades privadas recibían en Rusia el 7,9 % del número total de nuevos estudiantes de la enseñanza superior.

- La introducción gradual de dos títulos universitarios (equivalentes a licenciatura y maestría) y una revitalización de los programas de enseñanza.
- El mejoramiento de varios servicios educativos, esto es, el establecimiento de cursos pagados a tiempo completo y a tiempo parcial, la reorientación de titulares de diplomas de estudios superiores hacia nuevas profesiones y los contratos de formación en empresas.

Enseñanza de posgrado

La formación de posgrado de personal científico y tecnológico cualificado en los países de la CEI comprende cursos de dos niveles destinados a los aspirantes y a los doctores. En los dos últimos decenios ha disminuido la formación de posgrado; durante el periodo 1970-1990 el número total de estudiantes de posgrado disminuyó en un 7,3 % en la ex URSS en su conjunto. Las reducciones principales, en Rusia, por ejemplo, se produjeron en los campos de la ciencia relacionados con la tecnología (ingeniería, física, matemáticas y química), la agricultura y la economía, en tanto que en medicina y humanidades el aumento fue notable.

En 1993 hubo indicios de un aumento en la matrícula de los posgraduados en la mayoría de los países de la CEI. El número de estudiantes de posgrado sólo disminuyó en Azerbaiyán y Kirguistán en un 42-46 %.

La eficacia de los cursos de posgrado suele ser insuficiente: en 1993, sólo el 12-20 % de los estudiantes de posgrado (por país) terminaron su tesis doctoral (en Rusia la cifra fue del 24 %).

El escaso prestigio de los títulos científicos y las bajas remuneraciones no estimulan a los estudiantes de posgrado a continuar sus estudios. En 1991-1993, el número de estudiantes de los países de la CEI que los abandonaron antes del final de los programas se multiplicó por 1,2-2,2 veces, salvo en Rusia y Belarrús, donde no sufrió modi-

ficaciones. Sólo una pequeña proporción de los titulados se proponen seguir una carrera de investigación después de los cursos de posgrado. La encuesta por muestreo de 1993 del Centro de Investigación Científica y Estadística sobre los estudiantes de posgrado en las principales universidades rusas y en las escuelas superiores de ingeniería indicó que sólo el 8,8 % de los encuestados deseaban trabajar en la Academia de Ciencias después de finalizar sus estudios, mientras que el 54,2 % expresaron su interés por ingresar en el sector privado.

Los cursos de doctorado, impartidos en los principales institutos de investigación y en las universidades, representan la última etapa de la formación del personal de C&T. En 1993, había en Rusia unos 452 establecimientos que impartían este tipo de cursos, con una matrícula de 1.700 estudiantes. Un 34 % de los estudiantes en doctorado se gradúan con una tesis doctoral. En 1993, el Comité Supremo de Certificación de la Federación de Rusia confirmó unos 19.200 títulos (de aspirante y de doctor), frente a 35.100 en 1991.

POLÍTICAS CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

En tiempos de la política de centralización aplicada en la URSS, todos los organismos administrativos encargados de una política científica y tecnológica común (el Comité Estatal de Ciencia y Tecnología de la URSS, el Presidium de la Academia de Ciencias, el Ministerio de Defensa y los ministerios conexos) estaban situados en Moscú. Las distintas repúblicas no solían tener la capacidad técnica para elaborar y aplicar políticas científicas y tecnológicas globales. Las excepciones eran los programas científicos y tecnológicos de las repúblicas y regionales dedicados a aplicaciones locales y la administración semipública de infraestructuras locales de I+D bajo los auspicios de las academias de ciencias de las repúblicas.

Desde su independencia, los países de la CEI han tenido que hacer frente a la necesidad de formular políticas científicas y tecnológicas nacionales. La mayoría de las ex repúblicas, enfrascadas en transformaciones económi-

cas y sociales drásticas, no han tenido la posibilidad material de formular políticas científicas y tecnológicas apropiadas ni de organizar su aplicación desde cero. Tras un periodo de incertidumbre a este respecto, desde 1991 hasta principios de 1993, ahora se reconoce, por lo general, que la ciencia y la tecnología no sólo deberían mantenerse como herencia de la URSS, sino que pueden servir como un importante motor para el desarrollo económico y social.

A partir de fines de 1991, los Estados recién independizados empezaron a establecer organismos normativos de ciencia y tecnología. Éstos han revestido distintas formas (Ministerio de Política Científica y Tecnológica en Rusia; Comité Estatal de Ciencia y Tecnología en Ucrania, Azerbaiyán y Uzbekistán; Ministerio de Ciencia y Nuevas Tecnologías en Kazakstán; Comité Estatal de Ciencia y Nuevas Tecnologías en Kirguistán; Ministerio de Enseñanza Superior y Ciencia en Armenia, etc.), pero a pesar de las diferencias formales todos estos organismos se encargan de la elaboración y la aplicación de las políticas científicas y tecnológicas gubernamentales.

Para reforzar la autoridad de la política científica y tecnológica y su influencia concreta, se han creado en algunos países organismos de coordinación de alto nivel como, por ejemplo: el Consejo de Política Científica y Tecnológica, bajo la autoridad del Presidente de la Federación de Rusia, y la Comisión Gubernamental de Política Científica y Tecnológica, encabezada por el Primer Ministro ruso; la Comisión para el Progreso Científico y Tecnológico, el Desarrollo Tecnológico y la Conversión, del Gabinete de Kazakstán; el Consejo Supremo de Ciencia y Tecnología, bajo la autoridad del Presidente de Turkmenistán, etc. Estos consejos se encargan de la formulación y la evaluación de estrategias nacionales en materia de C&T, la adopción de medidas prioritarias y la coordinación interdepartamental. Se componen de representantes de organismos gubernamentales encargados de asuntos científicos y tecnológicos, de los medios científicos (academias, asociaciones, etc.) y de científicos destacados.

Las academias de ciencias nacionales tienen un estatus jurídico mejor que las coloca al nivel de las más altas

instituciones científicas autónomas. En Rusia y Ucrania, las academias nacionales han sido declaradas organismos no gubernamentales, pero en todos los países de la CEI están financiadas casi por completo por los presupuestos gubernamentales. Las academias no ha sufrido grandes cambios internos y en la actualidad están intentando conservar el control administrativo sobre las actividades de investigación.

Se han creado asimismo los departamentos «infraestructurales» necesarios, a saber, los organismos de patentes, los comités de certificación encargados de aprobar los títulos científicos, los organismos de normalización y metrología, etc.

En la actualidad, los objetivos principales de las políticas científicas y tecnológicas de los países de la CEI son los siguientes:

- El mantenimiento del potencial nacional en C&T como base del desarrollo económico y social.
- La concentración de los recursos en aspectos científicos y tecnológicos prioritarios.
- La creación de unas condiciones de mercado y de una base jurídica que propicie las actividades científicas y tecnológicas y la innovación.
- El apoyo del Estado a la conversión de las actividades de I+D militares.
- El fomento de la investigación básica.
- La participación en la cooperación científica y tecnológica internacional.

A través de sus nuevas políticas científicas y tecnológicas, las autoridades nacionales están procurando reforzar un método de financiación de las actividades de I+D orientado hacia determinados fines, condición *sine qua non* para reestructurar el sistema de I+D. Los presupuestos gubernamentales de C&T de los principales países de la CEI se preparan, en principio, según un esquema común. La mayor parte de las asignaciones presupuestarias para las actividades de I+D civiles (hasta el 80 % del total en Rusia y Ucrania) se destina a las academias nacionales y los departamentos subsidiarios para la correspondiente financiación de los organismos de investigación. El resto se reparte entre los programas científicos y tecnológicos

nacionales prioritarios (14-18 %) y las fundaciones recién creadas (2-6 %).

La proporción entre estas dos grandes partes del presupuesto civil de I+D reviste una importancia política. La primera refleja la voluntad de seguir manteniendo un gran número de organismos de investigación, a menudo sin resultados visibles, mientras que la segunda es un paso hacia la creación de un mecanismo de aplicación de la política gubernamental en condiciones de mercado (no obstante, la determinación de las prioridades tiene, en este contexto, una importancia considerable). Así pues, las asignaciones básicas reflejan el grado en que se está llevando a cabo la transformación de la política científica y tecnológica.

En Rusia, una parte importante de los fondos para las actividades civiles de I+D asignados a los departamentos gubernamentales se dedica directamente a la Academia Rusa de Ciencias. A consecuencia del aumento de la financiación para programas prioritarios, esta parte disminuyó de un 17 % del total en 1991 a un 13,3 % en 1994. No es de extrañar, por consiguiente, que esta política se tope con la resistencia de una parte de la burocracia del sector de I+D. En la actualidad, aunque los institutos de la Academia se financian principalmente mediante el presupuesto federal o a través de los programas gubernamentales de C&T, ambos bajo la responsabilidad del Ministerio de Política Científica y Tecnológica, la función del Presidium en la administración de las unidades de investigación y la redistribución de los fondos no responde a los objetivos de muchos organismos, en particular los más importantes.

Además, una proporción creciente de los fondos destinados a financiar la base de la investigación y el desarrollo de los departamentos gubernamentales se asigna en el marco de los programas económicos federales que comprenden un elemento de I+D. En Rusia, los principales son el Programa Espacial Federal y el Programa de Desarrollo de la Aviación Civil, que representan conjuntamente el 20 % de las asignaciones presupuestarias totales para la investigación y el desarrollo civiles, así como los programas de electrónica, maquinaria agrícola, seguridad ecológica y nuevo equipo médico. En Ucrania y Kazakstán existen también programas económicos e

industriales nacionales similares que comprenden actividades de I+D.

PRIORIDADES EN MATERIA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Como se indicó más arriba, existen determinados programas científicos y tecnológicos que son prioridades nacionales, como, por ejemplo, la investigación básica sobre fenómenos nuevos o la I+D en áreas específicas con miras a su aplicación práctica (41 programas en Rusia, 21 en Belarrús y 26 en Kirguistán, por ejemplo). La financiación de programas científicos y tecnológicos prioritarios se suele distribuir según un criterio de competitividad; los organismos nacionales de C&T la asignan directamente a las unidades de I+D productivas, sin pasar por la administración de las academias o los departamentos subsidiarios.

En el Cuadro 7 figura una clasificación de los programas científicos y tecnológicos prioritarios por objetivo general. Los países de la CEI están buscando nuevas soluciones científicas y tecnológicas para los problemas de energía y alimentación, después de que las políticas con uso intensivo de capital en materia de producción y consumo de energía, así como en agricultura, hubieran agotado prácticamente todas las posibilidades para el futuro. Un sector de interés común es el de las tecnologías de la información y las telecomunicaciones, consideradas un elemento necesario de toda infraestructura de mercado. Los países más industrializados (Rusia, Ucrania, Belarrús y Kazakstán) han iniciado programas especiales para la creación y la aplicación de nuevas tecnologías industriales, en tanto que aquéllos con riquezas mineras y recursos petroleros están más interesados en determinadas tecnologías para la minería y en la producción de nuevos materiales (Azerbaiyán, Kirguistán y Turkmenistán). Se presta particular atención a las cuestiones de protección ambiental, especialmente en los países afectados por la catástrofe de Chernobil (Belarrús, Rusia y Ucrania), las consecuencias de las pruebas nucleares (Kazakstán), los problemas ecológicos de los mares de Aral (Kazakstán) y Caspio (Azerbaiyán, Kazakstán y Turkmenistán). En

Rusia, una parte importante de los programas prioritarios está dedicada a la investigación básica en alta energía y física nuclear, superconductividad a alta temperatura, exploración espacial, genética, bioquímica, sustancias químicas, exploración ártica y antártica, etc.

Las reformas de los sistemas de C&T en los países de la CEI han incluido la creación de fundaciones destinadas a prestar apoyo a la investigación básica en Belarrús, Rusia y Ucrania. Estas funcionan como instituciones autónomas que compiten por subsidios para financiar la investigación básica llevada a cabo no sólo por los organismos de investigación o las universidades, sino también por pequeños equipos de investigadores y por científicos individuales, la dotación de las bases materiales y de equipo de los organismos de I+D, la adquisición de literatura científica, la concesión de becas, etc. Esos fondos son importantes para el apoyo a la investigación en determinados campos (como las matemáticas puras, la botánica y la zoología) que, por estar fuera de los programas gubernamentales, no reciben fondos dentro de las prioridades presupuestarias de I+D. La Fundación para la Investigación Fundamental fue la primera en ser creada en Rusia, seguida en 1994 de la Fundación para la Investigación en Ciencias Humanas. El papel de esos fondos sigue siendo limitado, empero, ya que no rebasan el 3-4 % del presupuesto civil de I+D.

Otro tipo de fundación recién creado es el destinado a prestar apoyo a la investigación y el desarrollo industriales y a la innovación. Pueden recibir fondos presupuestarios (por ejemplo, el Fondo Estatal de Innovación en Ucrania y el Fondo para el Fomento de las Pequeñas Empresas Científicas y Tecnológicas en Rusia) o no presupuestario. En 1992, se creó en Rusia una red de fondos no presupuestarios, administrados por ministerios, organismos, asociaciones y empresas, a fin de financiar las actividades sectoriales o intersectoriales de I+D y la innovación. Los recursos de los fondos subsidiarios provienen de contribuciones abonadas por las empresas (1,5 % de los costos de producción). El 25 % de todos los fondos se acumulan en el Fondo de Desarrollo Tecnológico ruso centralizado para financiar actividades de I+D de especial importancia para el Estado y los grupos industriales.

Se han creado fondos no presupuestarios para financiar las actividades de I+D en Kazakstán (la Fundación para la Ciencia de Kazakstán) y Moldavia (el Fondo Republicano para la Financiación de las Actividades de I+D, dependiente del Ministerio de Economía). Éstos aportan financiaciones para la investigación básica y aplicada con fondos procedentes de fuentes presupuestarias y de contribuciones de ministerios, empresas y otras fuentes en el extranjero. En Belarrús, una condición necesaria para la financiación presupuestaria de este tipo de proyectos es que los ministerios o las empresas interesados compartan los gastos derivados de la investigación y el desarrollo aplicados. En Kirguistán, algunos programas gubernamentales de C&T se financian incluso mediante empréstitos.

LA ESTRUCTURA INSTITUCIONAL DE LA INVESTIGACIÓN Y EL DESARROLLO

La estructura institucional de la base de la investigación y el desarrollo ha experimentado cambios importantes desde el principio de la *perestroika* en 1985. Los organismos de I+D tienen ahora la posibilidad de establecer sus propios objetivos de investigación y gastar sus propios fondos. Se ha introducido la forma contractual de apoyo a la investigación y el desarrollo y los institutos y empresas de investigación se están autofinanciando.

En las condiciones de mercado, éstos se tienen que ajustar a las restricciones presupuestarias y a la demanda industrial decreciente. A fin de preservar los grandes institutos de investigación que están a la cabeza de la ciencia en Rusia y que gozan de fama internacional por sus resultados en investigación básica y altas tecnologías, en 1993 se estableció en Rusia un Programa de Apoyo a los Centros Federales de Investigación. A fines de 1994, se había reconocido a 60 organismos el estatuto de instituto de investigación y estaba previsto que su número aumentara a 70 ó 75 a fines de 1995. Entre ellos cabe mencionar el Instituto Kurchatov de Energía Atómica, el Instituto Óptico Estatal, el Centro de Investigación para la Construcción Naval y otros institutos de física nuclear, aviación y espacio, química, biotecnología, electrónica y

CUADRO 7
OBJETIVOS DE LOS PROGRAMAS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS PRIORITARIOS EN LOS PAÍSES DE LA CEI

Objetivos	Armenia	Azerbaiyán	Belarrús	Kazakstán	Kirguistán	Moldavia	Rusia	Turkmenistán	Ucrania
Salud			✓		✓	✓	✓	✓	✓
Ecología		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Altas tecnologías		✓	✓			✓	✓		✓
Nuevos materiales		✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Energía	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Agricultura			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Minería	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓
Manufactura	✓	✓	✓	✓			✓		
Construcción			✓	✓		✓	✓	✓	
Informática y telecomunicaciones			✓	✓		✓	✓	✓	✓
Problemas sociales	✓	✓	✓		✓		✓		✓

Fuente: Compilación del autor a partir de informaciones proporcionadas por las autoridades nacionales.

fabricación de instrumentos. Los centros federales de investigación coordinarán las prioridades estratégicas más importantes a largo plazo. Las medidas de apoyo que se prevén para ellos son la financiación presupuestaria prioritaria de las instalaciones de I+D y experimentales, la reducción de tarifas de los servicios comunitarios y las comunicaciones, las concesiones fiscales y la depreciación acelerada.

En Kazakstán, el gobierno ha organizado centros científicos nacionales en los ámbitos de la investigación nuclear (el Instituto de Física de la Academia de Ciencias), la biotecnología, el procesamiento global de los minerales, la parioelectrónica y las telecomunicaciones, la ingeniería informática, la informática y la ecología, a fin de responder a las necesidades de los principales programas estatales. El Centro Estatal para las Nuevas Tecnologías Espaciales está situado en la base de lanzamiento de naves espaciales de Baikonur. Además, el Ministerio de Ciencia y Nuevas Tecnologías ha creado centros de análisis científico para elaborar programas nacionales sobre el desarrollo de la industria de los metales raros, la vigilancia ecológica, los estudios sobre el Mar Caspio, etc. En Kirguistán,

se han organizado centros nacionales de C&T con miras a introducir altas tecnologías en determinadas ramas de la industria.

Otro aspecto importante de la transformación de los organismos de I+D es su privatización. En Rusia, casi el 20 % de los institutos industriales de I+D y las oficinas de diseño se han privatizado, incluidas unas 100 grandes unidades de investigación de la industria militar. Cientos de unidades industriales de I+D se están incorporando a los grupos, las asociaciones y las empresas industriales. Representan, junto con 34.800 pequeñas empresas y 305 empresas conjuntas con grupos extranjeros (1993), un sector no gubernamental de I+D en expansión. Se han creado asimismo varios parques tecnológicos en algunas universidades.

Se está prestando especial atención al marco jurídico de la ciencia y la tecnología. En la mayoría, cuando no en todos los países de la CEI, se han promulgado ya o se están examinando en los respectivos parlamentos leyes sobre las políticas científicas y tecnológicas nacionales. Éstas definen los principios de la elaboración y aplicación de las políticas científicas y tecnológicas, los órganos administrativos

interesados y los procedimientos de financiación. Se han adoptado una serie de leyes que reglamentan la propiedad intelectual, como, por ejemplo, en Rusia la ley sobre patentes, la ley sobre marcas registradas, la ley sobre protección jurídica de programas y bases de datos informáticos, la ley sobre la protección jurídica de la topología de circuitos integrados (todas en 1992) y la ley de propiedad intelectual (1993).

Sin embargo, se ha de prestar más atención a la base legislativa de las empresas científicas y tecnológicas, a un sistema lógico en materia fiscal y comercial y a otros incentivos para los organismos y las universidades que ejercen actividades de I+D.

Las metas de las políticas científicas y tecnológicas están determinando a su vez los objetivos de una revisión de las estadísticas en materia de I+D (véase recuadro). Las medidas adoptadas en Rusia para aplicar normas internacionales a las estadísticas nacionales en materia de I+D e innovación (Gokhberg, 1993) contribuyen a la formulación de políticas con una visión realista de las tendencias científicas y tecnológicas y aportan a la comunidad internacional una información cada vez más transparente.

COOPERACIÓN INTERNACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

La desintegración de la Unión Soviética ha obligado a los Estados recién independizados a elaborar sus propias estrategias de cooperación internacional en ciencia y tecnología, que hasta entonces se organizaban de forma centralizada. Los vínculos directos entre organismos y empresas de investigación de las ex repúblicas soviéticas habían sido elementos integrales de una economía común. Ahora se han convertido en un medio de colaboración en C&T dentro de la CEI y en una nueva dimensión específica de la cooperación regional al respecto.

En marzo de 1992, los jefes de gobierno firmaron en Moscú un acuerdo de cooperación en C&T entre los países miembros de la CEI. Lo que motivó esa colaboración fue el interés a largo plazo de preservar las bases nacionales de I+D y de velar por su mejoramiento mediante ini-

ciativas multilaterales y bilaterales. Esto es especialmente importante en el caso de los proyectos de investigación a gran escala, como, por ejemplo, los de investigación básica, las instalaciones científicas y los centros experimentales de excepcional importancia cuyo mantenimiento es demasiado oneroso para un solo país, la formación de científicos e ingenieros, la información sobre C&T y la protección de la propiedad intelectual. Se convino en que se determinarían las áreas de los programas interestatales de investigación básica, los proyectos sobre desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías, la utilización conjunta de instalaciones científicas y tecnológicas y la convalidación recíproca de los títulos científicos. Se creó un Consejo Interestatal de Ciencia y Tecnología, con sede en Kiev, para coordinar la cooperación científica y tecnológica entre los países miembros.

En septiembre de 1993, se fundó en Kiev la Asociación Internacional de Academias de Ciencias, con la participación de los países de la CEI más la República Checa, Eslovaquia y Viet Nam. La asociación acepta que otros Estados colaboren en las actividades de investigación básica, presten apoyo a los proyectos de investigación en perspectiva y coordinen las políticas académicas.

Si bien la cooperación en C&T entre los países de la CEI se ha reforzado mediante acuerdos intergubernamentales multilaterales y bilaterales, no se lleva a cabo todavía en la escala más amplia posible. Las relaciones políticas y económicas inestables entre países de la CEI, los problemas financieros nacionales de las unidades de investigación y las empresas industriales y aun las dificultades para transferir fondos, todo ello pone trabas al restablecimiento de los contactos entre profesionales del sector de I+D.

El potencial en I+D y las posibilidades de cooperación científica y tecnológica difieren entre los distintos países de la CEI, por lo que su participación en los principales esfuerzos de colaboración multilaterales y bilaterales es muy variada.

Rusia es el país que más ha desarrollado la cooperación científica y tecnológica internacional, gracias a su participación en actividades de colaboración emprendidas por la

UNESCO, la ONUDI, el PNUMA, la OMS, el Consejo Internacional de Uniones Científicas (CIUC) y muchas otras organizaciones y programas internacionales y regionales de C&T. Se está intensificando la cooperación con la Unión Europea; entre los intereses comunes destacan la salud pública y la medicina, los nuevos materiales, las telecomunicaciones, los sistemas de información, las nuevas fuentes de energía, la biotecnología, la agricultura y la producción de alimentos. En 1993, el Gobierno de la Federación de Rusia aprobó la decisión de sumarse al Programa EUREKA. Los científicos rusos colaboran también en los grandes programas multilaterales sobre física de alta energía, energía nuclear y seguridad (Centro Europeo de Investigación Nuclear, CERN, Reactor Termonuclear Experimental Internacional, RTEI, Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA) y sobre exploración espacial.

Desde 1992 existe una cooperación científica entre Rusia y la OTAN.

Entre las recientes iniciativas internacionales a gran escala destinadas a prestar apoyo a la ciencia y la tecnología en la CEI, cabe mencionar el Programa de la Unión Europea de Asistencia Técnica para la Comunidad de Estados Independientes (ATCEI), iniciado en 1991, y la Asociación Internacional para el Fomento de la Cooperación con los Científicos de los Estados Independientes de la ex Unión Soviética (INTAS, creada en 1993 en Bruselas). En sus cuatro primeros años de funcionamiento, de 1991 a 1994, el programa ATCEI ha movilizado 1.900 millones de ECU (2.500 millones de dólares) para iniciar más de 2.000 proyectos, combinando los conocimientos técnicos occidentales con la experiencia local (Comisión Europea, 1994, págs. 308-309). La INTAS desempeña un papel

Estadísticas sobre ciencia y tecnología en los países de la CEI

Las estadísticas sobre ciencia y tecnología en la URSS se elaboraban bajo la influencia de la planificación centralizada en materia de C&T y su papel oficial se limitaba al apoyo informativo de los órganos gubernamentales. Esas estadísticas sobre C&T se basaban en indicadores generales y se prestaban mal al estudio analítico. Los datos estadísticos soviéticos sobre I+D eran, por lo general, incompatibles con las normas internacionales debido a las diferencias en los objetos de estudio, los métodos de contabilidad, el acopio y procesamiento de datos.

Producto de una rígida centralización, el Organismo Central de Estadística de la URSS era el único encargado de la metodología relativa a las estadísticas sobre I+D, acopio de datos y publicaciones. Así, todos los conocimientos técnicos estaban concentrados en Rusia, en tanto que las otras repúblicas carecían de experiencia y de tradición al respecto.

En diciembre de 1993, el Ministerio de Política Científica y Tecnológica (MPCT) y el Comité Estatal de Estadística de Rusia publicaron un comunicado conjunto con miras a mejorar las estadísticas sobre I+D e innovación. Según éste, el Centro de Investigación Científica y Estadística (CICE), creado a principios de 1991 y subordinado al MPCT y a la

Academia Rusa de Ciencias, debía encargarse directamente de la metodología relativa a las estadísticas científicas y tecnológicas, la aplicación de las normas estadísticas internacionales, el análisis de datos y los programas informáticos para el procesamiento de datos. Se autorizó asimismo al CICE a representar al ministerio en las relaciones con las organizaciones internacionales interesadas en materia de estadísticas científicas y tecnológicas.

En consonancia con los objetivos de la política científica y tecnológica, el CICE ha elaborado nuevas encuestas nacionales sobre I+D e innovación que responden a las normas de la OCDE y a la experiencia de la Unión Europea. Las áreas prioritarias cuyo desarrollo debe fomentarse son la financiación presupuestaria gubernamental de las actividades de I+D, los recursos humanos en C&T, la balanza de pagos tecnológica, las estadísticas sobre patentes y las estadísticas regionales. El Centro tiene también un programa ambicioso de publicaciones estadísticas. Los cambios metodológicos introducidos por el CICE han suscitado el interés del Comité Estadístico de la CEI y de los distintos países y se está estudiando la posibilidad de difundir sus resultados en otros Estados de la ex URSS.

importante en la organización de equipos de investigación conjuntos entre científicos occidentales y de los Estados recién independizados en todos los campos de las ciencias naturales, las ciencias humanas y las ciencias sociales. La financiación total para 1994 asciende a 21 millones de ECU (27,5 millones de dólares) (*op. cit.*, p. 308).

En 1994 se creó en Moscú el Centro Internacional de Ciencia y Tecnología (CICT), en virtud de un acuerdo firmado en noviembre de 1992 por los representantes de la Unión Europea, Rusia, los Estados Unidos de América y el Japón. Posteriormente, Finlandia, Suecia y Georgia se hicieron miembros y Canadá, Belarrús, Armenia y Kazakstán han manifestado su intención de serlo. La actividad del CICT está encaminada a facilitar la conversión de la investigación militar y nuclear a fines civiles, así como a prestar apoyo a proyectos de investigación básica y aplicada en materia de seguridad nuclear, protección ambiental, química y tecnología láser. Se espera que participen entre 4.000 y 5.000 científicos y la financiación será de entre 80 y 100 millones de dólares (*op. cit.*, p. 311).

La URSS mantuvo una cooperación científica y tecnológica bilateral con otros países durante más de 25 años. En Rusia, el marco jurídico para la colaboración en C&T reviste la forma de unos 100 acuerdos intergubernamentales y más de 400 acuerdos interdepartamentales con países de Europa Oriental y Asia del Sudeste que antes pertenecían al CAME. En 1992-1993, el Gobierno de la Federación de Rusia revisó los acuerdos firmados por la ex Unión Soviética y se han firmado nuevos acuerdos con China, la República de Corea, India y Sudáfrica, así como un protocolo de acuerdo con Taiwán.

Las academias de ciencias rusa y ucrania han concertado una serie de acuerdos con las academias nacionales y los centros de investigación de los Estados Unidos de América, Alemania, Francia, Italia, Reino Unido e Israel, entre otros países.

En Kazakstán está previsto iniciar estudios conjuntos sobre vigilancia ecológica desde el espacio en cooperación con la NASA y el organismo espacial francés. Las otras áreas importantes de cooperación son la minería, las fuentes de energía renovables, las comunicaciones por satélite,

los productos farmacéuticos y la formación en tecnologías avanzadas.

Los países de la CEI están estableciendo asimismo relaciones de cooperación regional bilateral en C&T con los Estados vecinos: por ejemplo, Moldavia con Rumania y Azerbaiyán y los países de Asia Central con Turquía, Irán y Afganistán.

Se está logrando una cooperación eficaz mediante el establecimiento de centros de investigación internacionales, como el Centro Internacional de Investigación Ecológica del Baikal, el Instituto Internacional de Matemáticas Euler de San Petersburgo, el Instituto Internacional de Física de Moscú, así como de universidades conjuntas (por ejemplo, la Universidad Ruso-Americana y la Universidad Franco-Rusa de Informática y Matemáticas Aplicadas).

El contacto directo entre institutos y empresas equivalentes y profesionales homólogos forma parte también de la cooperación científica y tecnológica internacional; su influencia va aumentando conforme se estabiliza la situación política y económica y mejora la base legislativa. En la actualidad, los institutos y las empresas de investigación de Rusia están llevando a cabo más de 200 proyectos con socios extranjeros y el intercambio de investigadores también va en aumento.

BIBLIOGRAFÍA

- Centro de Investigación Científica y Estadística (1993a), *Desarrollo de la ciencia en Rusia*, Moscú.
- (1993b), *Indicadores de ciencia y tecnología en la CEI, Data Book*, Moscú.
- (1993c), *La ciencia en la URSS: análisis y estadísticas*, Moscú.
- (1995), *Ciencia y tecnología en Rusia: 1994, Data Book*, Moscú.
- Comisión Europea (1994), *European Report on Science and Technology Indicators*. Luxemburgo: Office for Official Publication of the European Community.
- Comité de Estadística de la CEI (1994), *Países miembros de la CEI en 1993, Anuario estadístico*, Moscú.
- (1995), *Boletín estadístico*, n.º 3, Moscú.
- Economist* (1995), Moscú.
- Freeman, C. (1994), *Postscript, Economic Systems*, Vol. 18, n.º 2, págs. 215-219.
- Gokhberg, L. (1991), *El potencial científico de la URSS*, VINITI, Moscú.
- (1993), *Estadísticas científicas y tecnológicas en Rusia: situación actual y perspectivas*, Conferencia sobre indicadores de ciencia y tecnología en los países de Europa Central y Oriental, OCDE, París (CCEI/DSTI/EAS(93)161).
- (1994), Basic Research in Russia: Human Resource and Funding, *Economic Systems*, Vol. 18, n.º 2, págs. 159-178.
- Gokhberg, L. y L. Mindeli (1993), Los recursos soviéticos en I+D: características básicas, en *Research and Development Management in the Transition to a Market Economy*, IIASA, Laxenburgo, Austria.
- National Science Board (1991), *Science and Engineering Indicators - 1991*, Washington, DC: Imprenta del Gobierno de los Estados Unidos.
- (1993), *Science and Engineering Indicators - 1993*, Washington, DC: Imprenta del Gobierno de los Estados Unidos.
- Nekipelova, E., L. Gokhberg y L. Mindeli (1994), *La emigración de científicos: problemas, estimaciones reales*, CICE, Moscú.
- OCDE (1994a), *Main Science and Technology Indicators*, 1993/2, París.
- (1994b), *Science, Technology and Innovation Policies: Federation of Russia*, Vol. II, Background Report, París.
- State Committes on Statistics of the Russian Federation (1995) *Information Statistical Bulletin* (1): 3-4. Moscú.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a las distintas autoridades y academias nacionales de la CEI que aportaron informaciones valiosas para la preparación de este capítulo.

Leonid Gokhberg es director adjunto del Centro de Investigación Científica y Estadística de Moscú, organización auspiciada por el Ministerio de Política Científica y Tecnológica y la Academia Rusa de Ciencias. Diplomado de la Universidad de Transporte de Moscú, el Sr. Gokhberg es titulado en maestría y doctorado en economía.

Ha trabajado como consultor en indicadores de ciencia y tecnología ante la UNESCO, EUROSTAT y la OCDE y ha participado en numerosos proyectos y conferencias internacionales. Tiene más de 90 publicaciones en su haber, la mayor parte sobre ciencia y tecnología en Rusia.

Los Estados árabes

SUBHI QASEM

Los Estados árabes abarcan una serie de países muy distintos que presentan una gran variedad en cuanto a sus dimensiones, riqueza, situación de la ciencia y la tecnología y nivel de desarrollo económico y social. Algunos Estados como Somalia, Sudán y Mauritania figuran entre los más pobres del mundo, con un PNB per cápita de 400 a 600 dólares estadounidenses en 1992, mientras que otros, como los países del Golfo exportadores de petróleo, se sitúan entre los países más ricos, con un PNB per cápita entre 17.000 y 20.000 dólares. Aunque el PNB de los países árabes en general aumentó a principios del decenio de 1990 en comparación con el nivel que tenía a mediados de 1980, los Estados árabes se han empobrecido con el tiempo y así, el promedio del PNB per cápita para todos ellos rondaba en 1992 los 2.000 dólares, frente a casi 2.600 dólares en 1980.

En los últimos años, el desarrollo global de la ciencia y la tecnología en los Estados árabes no ha sido, en conjunto, satisfactorio. Pese a algunos puntos débiles en términos de resultados, el desarrollo de la enseñanza superior ha sido mucho más positivo que el de las actividades de investigación y desarrollo (I+D). La situación general, positiva o negativa, encubre profundas disparidades entre los países de la región. No se puede abordar ningún aspecto de los Estados árabes sin tener en cuenta los problemas políticos, económicos y de seguridad que se les han presentado a muchos de ellos. Por ejemplo, 10 años de guerra civil han devastado Somalia, mientras que el Líbano, famoso durante mucho tiempo por su pujanza en varios aspectos, principalmente en la enseñanza superior, empieza a recuperarse ahora de otra guerra civil que ha durado más de un decenio. Otros países árabes padecen todo tipo de dificultades entre ellos, desde el boicot internacional, como en el caso de Irak o la Jamahiriya Árabe Libia, hasta disturbios civiles, como los de Argelia, Sudán y Egipto. Las catastróficas consecuencias de la Guerra del Golfo en algunos Estados, junto con el descenso de los precios del petróleo en el mercado mundial en los últimos diez años, han dejado su impronta en la mayoría de los Estados árabes, si no en todos. Por otra parte, puede que el proceso de paz árabe-israelí, iniciado en 1992, sustituya final-

mente a la guerra entre estos países, que se ha prolongado durante los últimos cincuenta años. Aunque el efecto de la tan esperada paz puede ser profundo, hasta ahora se han producido pocos cambios positivos palpables.

LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA EN LA ENSEÑANZA SUPERIOR

Panorama general

La capacidad institucional de la enseñanza superior en los Estados árabes se ha desarrollado rápidamente en los últimos catorce años, un 50 % aproximadamente de las 132 universidades que funcionaban en 1993 se crearon en realidad entre 1980 y 1993. En 1992, unos 2,4 millones de estudiantes árabes acudían a instituciones de enseñanza superior, y sólo 4,6 % de ellos estaban matriculados en centros fuera de los Estados árabes. Los que estudiaban dentro de la región estaban matriculados en una de las 132 universidades, o de las 136 escuelas de nivel universitario o centros independientes de la universidad o de los 437 centros de educación popular que imparten una formación bienal o trienal o escuelas técnicas que conceden un título. La distribución de los alumnos matriculados según el nivel de estudios ha variado mucho entre los diferentes Estados árabes, pero ha alcanzado una media de 15,7 % del total del nivel de diploma, 78,6 % de licenciatura, 4,3 % de maestría, y tan sólo 1,4 % de doctorado. La proporción de estudiantes matriculados en disciplinas de ciencia y tecnología en cada nivel ha variado también entre países, pero ha llegado a un promedio respecto del total de matriculados de 45 % en el nivel de diploma, 34 % en licenciatura, 49 % en maestría y 67 % en doctorado. Estas proporciones no difieren significativamente de las vigentes en 1984-1985, salvo en el caso del diploma (véase el Cuadro 1).

Tendencias de la enseñanza de la ciencia y la tecnología

El índice de crecimiento de la matrícula en ciencia y tecnología en el nivel de licenciatura ha alcanzado un promedio anual del 4 % para el periodo 1980-1992, frente al

CUADRO 1
NÚMERO DE ALUMNOS MATRICULADOS EN CADA UNO DE LOS CUATRO GRADOS DE LA ENSEÑANZA DE TERCER NIVEL EN LOS ESTADOS ÁRABES DURANTE EL CURSO 1991-1992 Y 1984-1985, JUNTO CON LA PROPORCIÓN DE MATRÍCULAS EN C&T EN CADA GRADO CON RESPECTO AL TOTAL (en miles de estudiantes)

Nivel	1984-1985		1991-1992	
	Número	% en C&T	Número	% en C&T
Diploma	282	37	372	45
Licenciatura	1 484	36	1 861	34
Maestría	55	57	103	49
Doctorado	23	64	32	67
Total	1 844	-	2 368	-

Fuente: Qasem, 1990, 1995a.

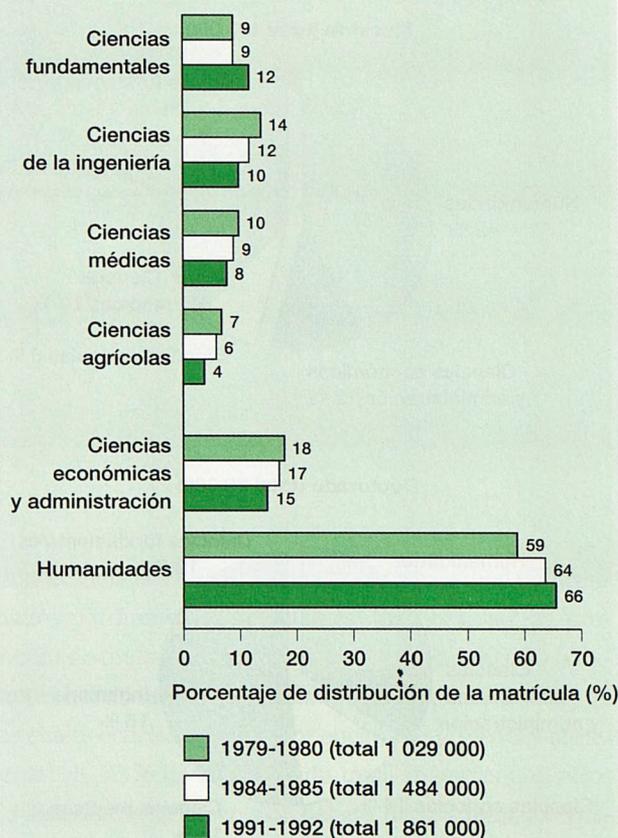
9 % en humanidades y ciencias sociales y el 7 % respecto al total. La distribución de los estudiantes de C&T por disciplina se ha modificado durante este periodo (véase el Gráfico 1). Aunque dentro de cada disciplina las cifras absolutas han aumentado en todas ellas, el porcentaje de estudiantes de ingeniería, por ejemplo, se redujo a un 10 % en el curso 1991-1992, frente al 14 % del curso 1979-1980. Por otra parte, el porcentaje de estudiantes matriculados en ciencias fundamentales ascendió al 12 % en 1991-1992, frente al 9 % en 1979-1980.

La capacidad de los establecimientos árabes de enseñanza superior no ha evolucionado de la misma forma para la maestría y el doctorado que para el primer nivel. Las instituciones árabes pudieron recibir a casi el 95 % de los estudiantes matriculados en licenciatura, y sólo el 5 % estudió fuera de la región árabe. Sin embargo, únicamente el 55 % y el 35 % de los matriculados en maestría y doctorado, respectivamente, lo estaban en centros de su propio país. El índice de crecimiento anual en estudios de posgrado era por término medio del 12 % entre 1980 y 1992, frente al 7 % en licenciatura para todas las discipli-

nas. No obstante, el índice de crecimiento en las disciplinas de C&T era del 10 % en posgrado frente al 4 % en licenciatura. A pesar de que la tasa de alumnos de posgrado ha llegado a ser del 6,5 % en 1992, comparada con el 4,8 % en 1980, sigue figurando entre las más bajas del mundo.

El porcentaje de alumnos matriculados en maestría y doctorado en C&T ha disminuido con los años, llegando al 51 % en 1992 frente al 60 % en 1980. La distribución de la matrícula en disciplinas científicas y tecnológicas no ha cambiado de forma significativa durante los últimos

GRÁFICO 1
DISTRIBUCIÓN POR DISCIPLINA DE ALUMNOS MATRICULADOS EN EL PRIMER NIVEL EN LOS ESTADOS ÁRABES Y SU EVOLUCIÓN EN EL TIEMPO DURANTE EL PERIODO 1980-1992



Fuente: Qasem, 1990, 1995a.

14 años, y así las ciencias médicas conservan el primer puesto durante todo este periodo, seguidas por las ciencias fundamentales (véase el Gráfico 2).

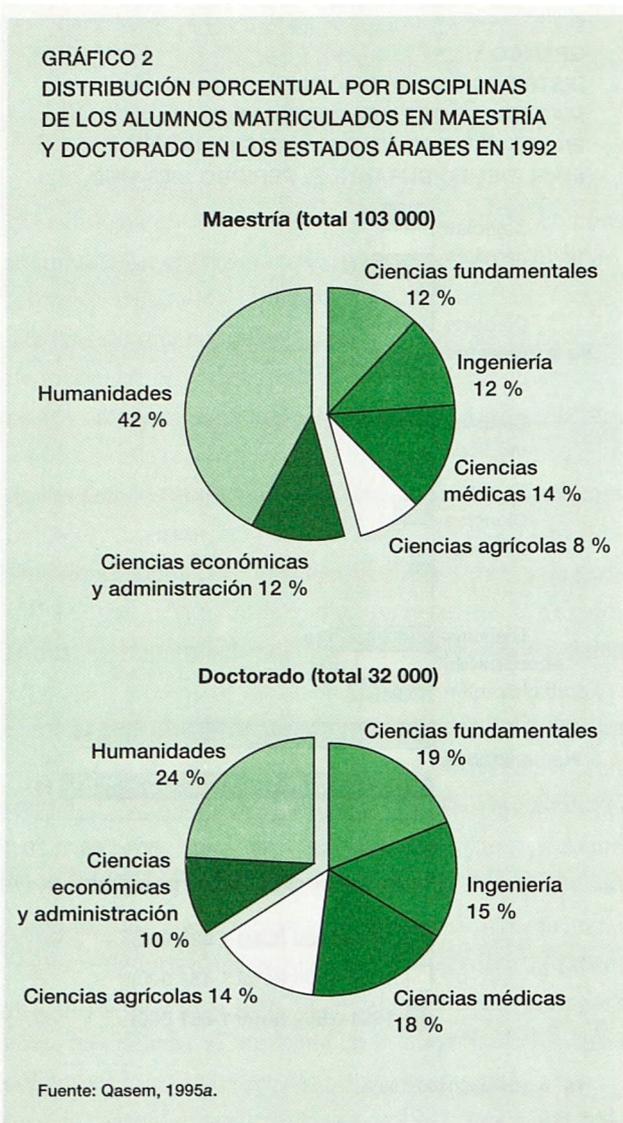
La proporción de mujeres en la enseñanza superior ha mejorado con los años, alcanzando el 35 % durante el curso 1991-1992, frente al 29 % del total de matriculados en licenciatura en 1979-1980. Las estudiantes predominan en la matrícula en humanidades y ciencias sociales, con un promedio del 69 % para todos los Estados árabes. La disciplina más popular de C&T, con un máximo de mujeres

matriculadas, fueron las ciencias fundamentales con un 12 %, seguidas por las ciencias médicas con el 9 %, la ingeniería con el 8 % y las ciencias agrícolas con el 3 % del total de estudiantes matriculadas.

El promedio de matrículas en licenciatura en todas las disciplinas y para todos los Estados árabes fue de 815 por cada 100.000 habitantes en 1992, con una gran disparidad entre los distintos niveles nacionales, desde Somalia, con 96 matriculados por cada 100.000 habitantes, hasta el Líbano, con 2.198 (véase el Gráfico 3).

Por otra parte, la proporción de alumnos matriculados en disciplinas científicas y tecnológicas difiere de la de matriculados en licenciatura en todas las disciplinas. El promedio total fue de 275, pero existen grandes diferencias entre los distintos Estados árabes (véase el Cuadro 2).

GRÁFICO 2
DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL POR DISCIPLINAS DE LOS ALUMNOS MATRICULADOS EN MAESTRÍA Y DOCTORADO EN LOS ESTADOS ÁRABES EN 1992

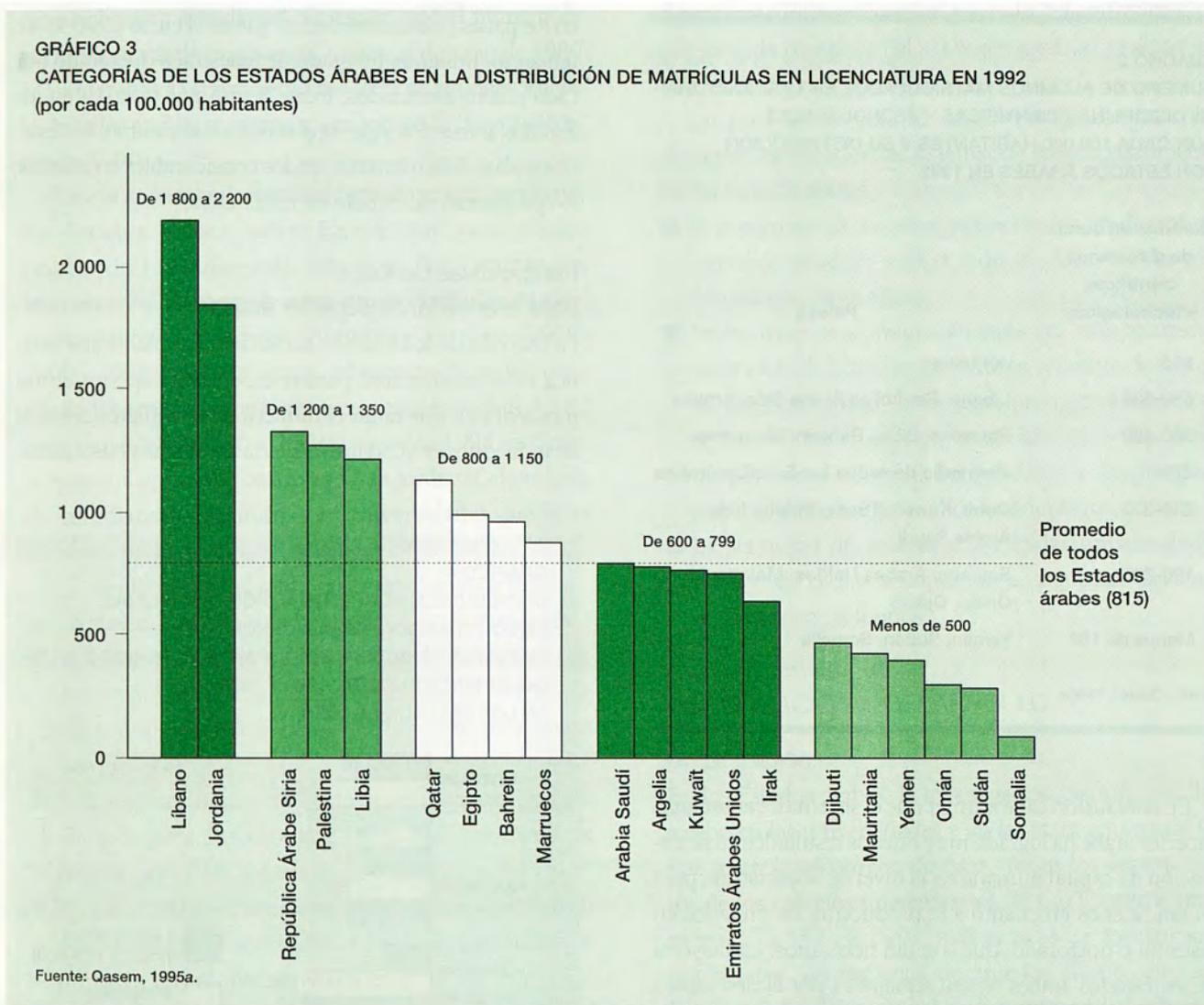


La formación de capital humano en ciencia y tecnología

La formación de capital humano se ha mantenido como la función básica de las instituciones de enseñanza superior. En 1992 se dedicó aproximadamente el 95 % del presupuesto universitario al desarrollo de los recursos humanos, dejando únicamente el 5 % para investigación y otras funciones. En el capital humano formado en centros de nivel universitario predominan los licenciados. Así, en el curso 1990-1991 terminaron sus estudios universitarios 291.700 personas, el 94,2 % con una licenciatura, el 4,3 % con una maestría y el 1,5 % con un doctorado. El porcentaje correspondiente a ciencia y tecnología fue el de un 35 % respecto del total y se reparte como sigue: el 12 % en ciencias naturales, el 10 % en ingeniería, el 8 % en ciencias médicas y el 5 % en ciencias agrícolas y veterinaria.

La composición de la formación de capital humano acumulada en ciencia y tecnología durante el periodo 1980-1993 no es muy distinta de la de 1990-1991. Así, respecto del total de graduados, un 95,2 % se tituló con una licenciatura, un 3,6 % con maestría y un 1,2 % con doctorado. El número total de licenciados durante el periodo de 14 años comprendido entre 1980 y 1993 fue de 3,2 millones, frente a 121.000 titulados con maestría y 39.000 con doctorado. El porcentaje de titulados con maestría o doctorado

GRÁFICO 3
CATEGORÍAS DE LOS ESTADOS ÁRABES EN LA DISTRIBUCIÓN DE MATRÍCULAS EN LICENCIATURA EN 1992
 (por cada 100.000 habitantes)



fuera de la región árabe durante esos 14 años fue mucho mayor que el de licenciados, y supuso el 21 % en maestría y el 52 % en doctorado, en comparación con sólo el 5 % en licenciatura del total de titulados en cada grado. La distribución de titulados con maestría o doctorado por disciplinas fue muy diferente de la de licenciados (véase el Gráfico 4).

Estos promedios presentan una gran variación entre los Estados árabes en lo que se refiere a las proporciones en los distintos niveles de titulación universitaria, la propor-

ción de ciencia y tecnología y el porcentaje total de licenciados por número de habitantes. En 1993, la cifra promedio de titulados universitarios por cada 100.000 habitantes fue de unos 1.420 para todos los países árabes, de los cuales ocho se situaban por encima de la media y representaban 30 % de la población total, mientras que otros 13 Estados se situaban por debajo de la media y representaban el 70 % restante. La variación entre Estados iba desde un máximo de 3.070 titulados por cada 100.000 habitantes hasta un mínimo de 300.

CUADRO 2
NÚMERO DE ALUMNOS MATRICULADOS EN LICENCIATURA
EN DISCIPLINAS CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS
POR CADA 100.000 HABITANTES Y SU DISTRIBUCIÓN
POR ESTADOS ÁRABES EN 1992

Alumnos en cursos de disciplinas científicas y tecnológicas	Países
865	Jordania
530-630	Libano, República Árabe Siria, Argelia
380-480	Palestina, Libia, Bahrein, Marruecos
275	Promedio de todos los Estados árabes
230-320	Qatar, Kuwait, Túnez, Egipto, Irak, Arabia Saudí
100-200	Emiratos Árabes Unidos, Mauritania, Omán, Djibuti
Menos de 100	Yemen, Sudán, Somalia

Fuente: Qasem, 1995a.

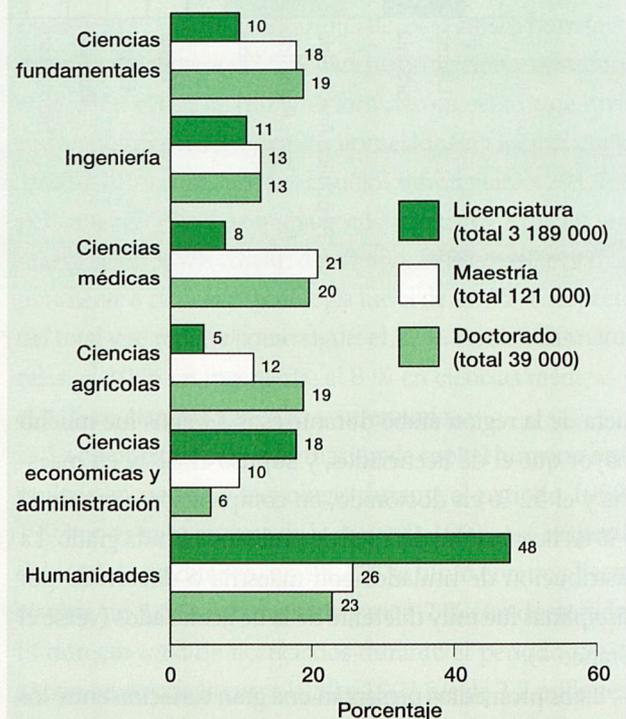
En conclusión cabe afirmar que el sistema de enseñanza superior árabe ha logrado muy buenos resultados en la formación de capital humano en el nivel de licenciatura, pero no tan buenos en cuanto a la producción de titulados en maestría o doctorado, que son tan necesarios. La mayoría de los Estados árabes se ven aquejados por el desempleo entre licenciados, incluso en algunas disciplinas científico-técnicas, pero al mismo tiempo existe una demanda de titulados de nivel de maestría y, sobre todo, de doctorado. El hecho de que el 37 % del profesorado universitario y el 51 % del personal investigador de instituciones que llevan a cabo su actividad de I+D fuera de las universidades sólo posean una titulación de nivel de maestría pone de relieve la necesidad que existe en potencia de titulares de un doctorado. Esta situación indica la urgencia de un cambio a un mayor equilibrio en la formación de capital humano, con el aumento del 10 % del número de titulados en maestría y doctorado durante los próximos diez años y una reducción de las distancias respecto a las proporciones actuales

en los países más desarrollados, que en el curso 1990-1991 tenían un titular de un grado de maestría o doctorado por cada cuatro licenciados, frente a uno por cada 19 en los Estados árabes. Para que se produzca este cambio, los Estados árabes deben invertir fondos considerables en afianzar los programas de estudio de tercer ciclo.

Perspectivas de futuro para la enseñanza superior árabe

La mayoría de los Estados árabes han adoptado una política de admisión libre para la enseñanza superior en un momento en que tanto el número de bachilleres como el de individuos en edad universitaria aumentaba hasta alcan-

GRÁFICO 4
DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL POR DISCIPLINAS
DE LOS TITULADOS CON LICENCIATURA,
MAESTRÍA Y DOCTORADO DURANTE EL PERIODO
COMPRENDIDO ENTRE 1980 Y 1993
EN LOS ESTADOS ÁRABES.



Fuente: Qasem, 1995a.

zar niveles sin precedentes. Se espera que el número de personas en edad universitaria, que en el decenio de 1980 se aproximaba a un promedio del 10 % de la población de los Estados árabes, se mantenga en torno al 9 % en el decenio de 1990.

Ante la creciente demanda de enseñanza universitaria, los Estados árabes, salvo Egipto, han reaccionado ampliando los índices de admisión. Por ejemplo, en Marruecos, el número de estudiantes admitidos en universidades públicas se ha duplicado en el cuatrienio 1989-1990 - 1993-1994. En Sudán, el número de estudiantes admitidos en instituciones gubernamentales pasó de 5.100 en el curso 1989-1990 a 25.100 en 1993-1994, es decir, se quintuplicó en sólo cuatro años, en Jordania, el número de estudiantes admitidos en universidades públicas aumentó en un 25 % desde el curso 1988-1989.

La respuesta general a esta creciente demanda de enseñanza superior puede resumirse de la siguiente manera:

- Muchos países han fomentado la creación de universidades y facultades financiadas por el sector privado, alcanzando la cifra de 122 instituciones de este tipo en 1994.
- Varios países han establecido sistemas universitarios abiertos para dar cabida a un número máximo de estudiantes en las zonas en que residen.
- Todos los países árabes han promovido la admisión en centros de educación popular o escuelas técnicas que imparten formación bienal o trienal.
- La mayoría de los países árabes ha aumentado el número de universidades, sobre todo en regiones alejadas de la capital.

Ahora bien, según los indicadores, el aumento en la admisión ha traído consigo, desgraciadamente, una merma de la calidad de la enseñanza superior en numerosos Estados árabes. Por ejemplo, los gastos en la enseñanza superior experimentaron en 1992 un aumento inaudito, llegando a 3.960 millones de dólares, el equivalente al 0,81 % del PIB. Sin embargo, la parte correspondiente a cada alumno del presupuesto total de la universidad se redujo a 1.891 dólares en 1992, frente a 2.062 dólares en 1985 en precios actuales. También se redujo el tiempo dedicado por

el personal a la investigación, pasando del equivalente de una jornada completa del 10 % del total del personal en 1984-1985 al 6 % en 1992.

Las previsiones para los años venideros indican los siguientes cambios en los sistemas de enseñanza superior en los Estados árabes.

- El porcentaje de alumnos matriculados en disciplinas científico-técnicas seguirá reduciéndose, tal vez más deprisa que hasta ahora.
- Probablemente se asignarán cada vez más recursos a programas de licenciatura, tanto en términos de tiempo de personal como de fondos, pero puede que esta situación no mejore sustancialmente las bajas proporciones actuales de estudiantes de posgrado respecto del número total de matriculados.
- La actividad de investigación en las universidades, función de la mayor importancia, seguirá adoleciendo de la escasez de fondos.

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Organización

En los Estados árabes, la investigación científica se lleva a cabo en las universidades y en las instituciones de I+D que se crean al margen de éstas. Todos los departamentos de los colegios universitarios de C&T, cuyo número ascendía a 557 en 1993, son centros de investigación potenciales. Sin embargo, durante los últimos diez años los miembros del personal de las universidades han ido dedicando cada vez menos tiempo a la investigación debido al aumento de la carga docente. La investigación que se realiza en los departamentos que ofrecen estudios de posgrado también ha sufrido las consecuencias a causa de la limitación de los porcentajes de admisión (a excepción de los de las universidades egipcias). De los 1.417 departamentos de ciencias fundamentales, ingeniería y agricultura, sólo un 30 % ofrecían programas de doctorado en tanto que un 54 % proponían licenciaturas en Ciencias. En 1990-1991 el número total de egresados de los programas universitarios de tercer ciclo en todas las disciplinas de C&T fue de 4.100 licenciados en ciencias

y de 700 doctores. Aunque todos los licenciados prepararan una tesis, el número de publicaciones de investigación seguiría siendo muy reducido para un grupo de Estados que cuenta con 224 millones de habitantes. El número del personal de investigación a tiempo completo también fue escaso y se calculó que ascendía sólo a 4.700 en todas las disciplinas de investigación, cifra equivalente a sólo un 6 % del total de los miembros del personal de las universidades.

Muchas universidades han creado centros de investigación de C&T a fin de organizar, financiar y supervisar mejor las actividades de investigación en las esferas prioritarias. De los 42 centros existentes de este tipo, el 30 % estaban dedicados a la agricultura y disciplinas afines, el 26 % a la salud, el 14 % a la ingeniería y el 30 % a todas las demás disciplinas, como el petróleo, las ciencias fundamentales, el medio ambiente y la biotecnología.

Por otra parte, las actividades de I+D que se llevan a cabo al margen de las universidades árabes se organizan de acuerdo con distintos modelos institucionales. Entre las 244 estructuras de I+D, figuran cinco sociedades,

94 centros, 61 institutos, 75 divisiones y nueve programas. La denominación de sociedad sólo se utiliza en algunos países. Por ejemplo, en el Sudán la I+D se organiza en varios centros por productos. En cambio, el centro es la estructura orgánica que se utiliza con más frecuencia. Los centros podrían construirse en torno a actividades de I+D monodisciplinarias (productos) o multidisciplinarias. Las divisiones suelen ser estructuras orgánicas de centros, institutos o simplemente servicios de investigación que son independientes dentro de un ministerio. Por lo común, gozan del nivel de autonomía más bajo entre las instituciones de I+D, excepto en lo relativo a los programas.

Clasificación de la I+D por disciplinas

Las instituciones de I+D más desarrolladas de los Estados árabes son las de alimentación y agricultura. En 1993 un total de 105 instituciones llevaba a cabo una labor de investigación en el campo de los sistemas de producción agrícola, el agua y el regadío, las ciencias marinas y la pesca, la silvicultura, la tecnología alimentaria, los estudios sobre el desierto y el medio

CUADRO 3
INSTITUCIONES DE I+D DE LOS MINISTERIOS (AL MARGEN DE LAS UNIVERSIDADES) Y SU CLASIFICACIÓN POR ÁMBITO DE INVESTIGACIÓN EN LOS ESTADOS ÁRABES EN 1992

Ámbito de investigación	Empr.	Centro	Instit.	Div.	Progr.	Total
Agricultura, pesca, silvicultura, agua y bromatología	3	36	31	33	2	105
Salud, nutrición y biotecnología	—	12	9	8	2	31
Energía	1	14	5	7	1	28
Industria	—	5	6	11	2	24
Geología, teledetección, meteorología y ciencias fundamentales	1	10	1	7	1	20
Ingeniería	—	3	4	5	—	12
Petróleo y petroquímica	—	3	4	2	—	9
Planificación y coordinación de la I+D	—	4	1	2	1	8
Desarrollo de la enseñanza	—	7	—	—	—	7
Total	5	94	61	75	9	244

Fuente: Qasem, 1995b.

ambiente. Las demás instituciones de I+D podrían dividirse en siete ámbitos de investigación principales (Cuadro 3).

En 1992, el número de personas empleadas en la investigación en los Estados árabes ascendió a 14.500, de las cuales el 53 % eran titulares de un doctorado y el 47 % de una maestría en ciencias. Los miembros del personal de apoyo con una maestría en ciencias sumaron 6.800, y los técnicos y administrativos, 28.500. Esto significa que existe un número mayor de personal de apoyo, en una proporción de 2,4 por investigador. El número total de personal de investigación de los Estados árabes es uno de los más bajos del mundo: en 1992 la proporción de investigadores era de uno por cada 4.295 integrantes de la fuerza de trabajo, o sea, de un investigador por cada 15.000 habitantes. Un tercio aproximadamente (32,5 %) del personal de investigación trabaja en las universidades, mientras que los dos tercios restantes lo hacen en distintas instituciones de I+D al margen de éstas. El sector público sigue llevando a cabo las actividades de I+D y el sector privado sólo realiza menos del 1 % de ellas en todas las disciplinas.

La asignación de personal de investigación a las distintas disciplinas varió enormemente en 1992. El mayor porcentaje, o el 44 % del personal de investigación en su conjunto, se destinó a las actividades de I+D relativas a la agricultura y disciplinas afines, como el agua y el riego, la pesca, la tecnología alimentaria y la silvicultura. El 56 % restante se destinó a todas las demás disciplinas de investigación combinadas, a saber: la salud, la energía, el petróleo, las ciencias fundamentales, los minerales, la teledetección, la industria, la enseñanza, las humanidades y las ciencias sociales (Cuadro 4).

Los promedios que figuran en el Cuadro 4 encubren grandes disparidades entre los Estados árabes. Por ejemplo, la proporción correspondiente a Egipto es del 52 % de la plantilla total de investigación aunque este país sólo cuenta con el 24 % de la población total de los Estados árabes. Marruecos también goza de una buena situación, con el 9 % de la plantilla total de investigación de los países árabes y el 11 % de la población total. El 37 % de la plantilla total de investigación corresponde a todos los demás países árabes combinados, que cuentan con el 65 % de la población total.

CUADRO 4
PERSONAL DE INVESTIGACIÓN (TITULARES DE UN DOCTORADO Y TITULADOS DE UNA MAESTRÍA EN CIENCIAS)
Y SU DISTRIBUCIÓN POR ÁMBITO DE INVESTIGACIÓN EN LOS ESTADOS ÁRABES EN 1992

Ámbito de investigación	Personal de investigación			Personal de apoyo con una maestría en ciencias (en miles)
	Total	% de doctorados	Proporción correspondiente a la Univ. en el total (%)	
Agricultura y disciplinas afines	6 400	53,1	10,5	3 200
Salud, nutrición y biotecnología	2 100	53,7	57,6	800
Geología, teledetección e ingeniería	2 100	59,0	63,1	1 100
Humanidades y ciencias sociales	1 500	62,2	85,7	400
Energía	1 500	42,0	2,7	900
Industria	900	43,0	5,6	400
Total	14 500	53,0	32,5	6 800

Fuente: Qasem, 1995b.

Gastos de I+D

En la gran mayoría de los Estados árabes, la I+D ha sido una actividad del sector público y los gobiernos son la única fuente de financiación nacional. Los gastos de I+D han fluctuado a lo largo de los años, aunque se ha manifestado una tendencia descendente desde mediados del decenio de 1980, debido a los problemas económicos con que empezaron a toparse muchos Estados árabes. La situación empeoró a raíz de la Guerra del Golfo, al recortarse fondos importantes de los presupuestos nacionales para destinarlos a actividades militares. Desgraciadamente, los fondos que antes se asignaban a la investigación fueron los más afectados por estas circunstancias. Suele ocurrir que los fondos destinados a la investigación, inicialmente elevados, lo cual es alentador, figuren entre los primeros gastos en reducirse si el Gobierno realiza recortes presupuestarios.

En 1992, el gasto total de I+D que se financió con fuentes nacionales en todos los Estados árabes ascendió sólo a 548 millones de dólares estadounidenses, de los cuales el 99 % correspondió a fondos públicos y sólo el 1 % al sector privado. Esta cifra es muy baja en comparación con las de mediados del decenio de 1980, periodo en el que el gasto de I+D alcanzó su punto más alto en varios Estados. La mayoría de los Estados árabes no exportadores de petróleo han recibido fondos de apoyo a la investigación de organismos bilaterales, regionales e internacionales en el marco de programas de asistencia técnica. Este apoyo exterior ha fluctuado a lo largo de los años: alcanzó su punto máximo a principios y mediados del decenio de 1980 y disminuyó a finales de dicho decenio y a principios del siguiente. Entre los principales países que recibieron apoyo exterior figuran Egipto, Marruecos, Túnez, Jordania, Sudán y Yemen. El importe de este apoyo ascendió a una media de 90 millones de dólares estadounidenses al año a mediados del decenio de 1980, pero disminuyó a sólo un tercio a principios del decenio siguiente.

El gasto de I+D en su conjunto es muy bajo en comparación con lo que se necesitaría para llevar a cabo una investigación adecuada. La proporción media del gasto de

I+D en el PIB fue sólo del 0,1 %. Sin embargo, esta cifra encubre grandes disparidades en los niveles del gasto nacional entre los Estados árabes. A su vez, los promedios del gasto de los Estados ocultan igualmente variaciones considerables entre los niveles de apoyo a los distintos sectores; por ejemplo, la parte correspondiente a I+D en agricultura representa algo más de un 40 % del gasto total. En algunos países se aproxima al umbral mínimo —que, de acuerdo con las normas internacionales, es el 1 % del PIB sectorial. En 1992 el aporte de la producción agrícola al PIB total de los Estados árabes fue del 14 %, pero representó el 42 % del gasto total. Por otra parte, la participación del petróleo y el gas en el PIB fue del 21 %, en tanto que su parte correspondiente al gasto total de I+D fue ligeramente inferior al 5 %. La industria manufacturera es otro sector cuya participación en el PIB, 10 % en 1992, superó con creces la parte correspondiente al gasto de I+D, que fue sólo del 4 %. La investigación relativa a la salud y a la nutrición ocupó el segundo lugar, tras la agricultura, respecto del volumen de fondos y representó casi el 15 % del gasto total.

La financiación de las actividades de I+D se realiza de acuerdo con las pautas generales que se aplican a otras instituciones públicas. Los sueldos de los investigadores y del personal de apoyo a la investigación constituyen la partida más importante del presupuesto, que incluye asignaciones marginales para fondos operativos. Los programas de investigación se elaboran con escaso aporte de los destinatarios. Por consiguiente, tradicionalmente las actividades de investigación se han determinado en función de la oferta. En varios países árabes se han creado recientemente instituciones de planificación, coordinación y financiación de la investigación. La Academia Egipcia de Ciencia y Tecnología, la Fundación de Kuwait para el Progreso de la Ciencia, el Consejo Superior de Jordania para la Ciencia y la Tecnología y la Ciudad Rey Abdulaziz para la Ciencia y la Tecnología de Arabia Saudí son ejemplos de este tipo de instituciones, cuyo objetivo es superar el desequilibrio entre la investigación determinada por la oferta y la condicionada por la demanda. Cada institución asigna fondos para apoyar la investigación definida y coordinada tanto

por los productores como por los usuarios. No obstante, el presupuesto de apoyo a la investigación de estas instituciones no supera el 5 % del gasto total de I+D en el país respectivo y por tanto, las posibilidades de que logren orientar la investigación en función de las necesidades y exigencias nacionales son mucho menores de lo que se esperaba.

Las perspectivas futuras de las actividades de I+D no son muy halagüeñas. A excepción de Egipto, país en el que existe un gran número de titulares de doctorado y de maestría en ciencias, la mayoría de los países de la región carecen de científicos suficientemente cualificados para dedicarse a la investigación. Durante los últimos 10 años se han creado más de 50 universidades y está previsto fundar otras muchas que empezarán a funcionar próximamente. Estas universidades se disputan los titulares de doctorado y de maestría en ciencias disponibles. Las universidades de la mayoría de los Estados árabes emplean a muchos titulares de maestría en ciencias para que ejerzan funciones que suelen asignarse a los doctores. Como ya se ha indicado, los titulares de maestría en ciencias ya representan el 37 % del total de la plantilla docente de las universidades árabes, y si se excluye a Egipto, el 44 % del total de dicha plantilla de todas las universidades árabes. En 1992, la parte correspondiente a las universidades en el gasto total de investigación fue del 34 %, cifra muy inferior a la de mediados del decenio de 1980. Es probable que durante los próximos años se solicite al personal que dedique más tiempo a la enseñanza, lo que daría al traste con los esfuerzos realizados en pro de la investigación universitaria en la mayoría de los países. Egipto es el único país árabe que tal vez no acuse la disminución del papel de las universidades en el esfuerzo nacional en favor de la investigación.

No se espera un aumento drástico de los fondos destinados a las actividades de I+D durante los próximos años. Lo que sí puede ocurrir, empero, es que algunos Estados decidan concentrar sus actividades de I+D en una o dos disciplinas y, por tanto, tengan más posibilidades de proporcionar fondos suficientes para su realización efectiva.

El papel de la industria y de otros interlocutores del sector privado en el apoyo a la investigación es prometedor en varios Estados árabes, aunque evoluciona mucho más lentamente de lo que se esperaba. Algunos países han ofrecido incentivos a las industrias para que creen sus propios centros de I+D. Todos los Estados árabes han decidido hacerse miembros de la Organización Mundial del Comercio que surgió del GATT en 1994. Si se quiere que las exportaciones árabes sean competitivas en los mercados regionales e internacionales, así como en los nacionales, los Estados deben adoptar políticas más agresivas para el desarrollo de los productos. Seguramente esto dará lugar a una demanda de actividades de I+D y servicios técnicos conexos, como el control de calidad y los métodos de explotación normalizados.

POLÍTICAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Organismos encargados de formular la política de C&T

La mayoría de los Estados árabes, si no todos, han establecido un organismo nacional encargado de formular la política de C&T. Tradicionalmente se adoptaban los modelos de ministerio de enseñanza superior y de consejo de investigación científica como organismos de formulación de políticas para la enseñanza superior y las instituciones de investigación, respectivamente. En años recientes han aparecido varios modelos de organismos que se encargan de las políticas de C&T, como el ministerio de enseñanza superior, el ministerio de investigación científica, el consejo de C&T, el ministerio de enseñanza superior e investigación científica y el consejo de enseñanza superior. Por otra parte, el organismo responsable de la política de C&T puede recibir una denominación distinta y funcionar como un ministerio, como ocurre con la Ciudad Rey Abdulaziz para la Ciencia y la Tecnología de Arabia Saudí.

En la mayoría de los Estados árabes, los organismos responsables de la política de la enseñanza superior son independientes de los que se encargan de formular las políticas de I+D y de servicio técnico. Los ministerios de enseñanza superior e investigación científica, como los de Irak,

Yemen, Sudán y Argelia, se encargan de los establecimientos de enseñanza superior y de la investigación que se realiza en las universidades pero no de la investigación llevada a cabo en otros ministerios. En todos los Estados árabes, las instituciones de investigación y las universidades son más antiguas que los nuevos organismos institucionalizados encargados de formular las políticas de C&T. Muchas universidades han disfrutado de un amplio margen de autonomía mientras que las instituciones de I+D que se crearon dependen de consejos autónomos o están sometidas al control directo de determinados ministerios. Hasta el momento, la inmensa mayoría de la investigación en materia agrícola, por ejemplo, ha sido planeada, financiada y realizada por el ministerio de agricultura de cada Estado árabe. Lo mismo ocurre con la salud, la industria y la energía. Pocas instituciones de I+D disfrutaban de un amplio margen de autonomía y las que lo tienen suelen ser multidisciplinarias. Esta evolución histórica de las instituciones de C&T ha dificultado hasta ahora el establecimiento de relaciones de trabajo armoniosas entre los organismos encargados de la política de C&T y las instituciones que la aplican.

Objetivos e instrumentos de política

Aunque los organismos que formulan la política reciben distintas denominaciones, todos ellos están a cargo de autoridades superiores de la administración pública. Suelen estar presididos por un ministro o un funcionario de alta jerarquía de categoría ministerial. Estos organismos se crearon porque los responsables de la política estimaron necesario planificar, coordinar y consolidar las actividades de C&T en cada Estado árabe.

Los objetivos de las políticas de enseñanza superior suelen ser en la mayoría de los casos, si no en todos, los siguientes:

- Brindar oportunidades de enseñanza superior al máximo número posible de los interesados. Se trata más bien de una política de puertas abiertas en relación con el ingreso en la universidad que de una política de ingreso racionalizada. Sólo un país, Egipto, instauró en 1984 una política de ingreso bastante racionalizada,

especialmente en relación con los colegios universitarios de C&T de nivel de licenciatura en ciencias. Sin embargo, Egipto fue el primer Estado árabe que estableció el libre ingreso en las universidades ya desde finales del decenio de 1950.

- Impartir enseñanza superior en disciplinas acordes con los objetivos de desarrollo y las necesidades sociales nacionales.
- Impartir una enseñanza superior sin cargo en la que el gobierno asuma todos los costos universitarios. La excepción a esta política se encuentra en un solo Estado y en los territorios ocupados de Palestina.
- Impartir una enseñanza de alta calidad y, en algunos casos, una enseñanza excelente.

Lamentablemente, los medios que se han facilitado para lograr estos objetivos han estado muy por debajo del nivel requerido en todos los países no exportadores de petróleo e incluso en algunos de los países exportadores de dicho producto. La mayoría de las universidades no cuenta con los fondos suficientes y muchas de ellas no han logrado impartir una enseñanza de calidad conforme a los indicadores internacionales. Muchas universidades no han podido reaccionar a tiempo ante los cambios y demandas de los sectores social y económico. Como cada vez se admite a más estudiantes en el primer ciclo, las universidades no han tenido los medios para preparar a tiempo nuevos programas de licenciatura en ciencias y doctorado que tengan un alcance y una extensión más allá de dicho ciclo acordes con la creciente demanda.

Por otra parte, entre los objetivos de los organismos que formulan la política de I+D figuran los siguientes:

- Definir la I+D y los servicios técnicos en planes con determinación de prioridades acordes a las necesidades de los sectores de desarrollo social y económico.
- Utilizar de manera óptima los recursos asignados a las actividades de I+D mediante la coordinación y consolidación de las actividades de todas las instituciones de I+D.
- Promover las relaciones entre todos los interesados en las actividades de I+D y servicios técnicos, especialmente entre los usuarios y los productores.

- Crear un entorno dinámico para lograr una productividad elevada de la I+D y de personal de servicios técnicos.

La medida en que los organismos encargados de formular las políticas han logrado cumplir los objetivos de la I+D y de los servicios técnicos ha variado considerablemente entre los Estados árabes. La experiencia muestra que la labor de estos organismos depende en gran medida del tipo y de la eficacia de los instrumentos empleados para lograr los objetivos de política. Por ejemplo, muchos países han recurrido a la creación de comités que representan a todos los interesados a fin de planificar y coordinar las actividades de I+D. No existen indicios de que estos comités hayan logrado la coordinación y consolidación suficientes de los recursos de I+D. Sin embargo, el apoyo financiero que se prestó al margen del presupuesto ordinario de las instituciones de I+D resultó ser un mecanismo mucho más apropiado. Lamentablemente el importe de la ayuda financiera que se proporcionó a las instituciones encargadas de la política no fue suficiente para lograr repercusiones amplias. En varios casos, el apoyo financiero no se mantuvo al nivel inicial, y terminó por perder la capacidad de alcanzar los objetivos deseados. En 1988-1992, el apoyo anual medio prestado por los organismos encargados de la política a los programas de I+D en cuatro Estados árabes —a saber, Egipto, Jordania, Kuwait y Arabia Saudí— representó el 3,6 % del gasto total de I+D.

Los contratos de investigación entre los usuarios y los productores de I+D constituyen otro mecanismo idóneo para aumentar la pertinencia del resultado de la I+D respecto de las demandas de los usuarios. Tampoco este instrumento, aunque eficaz y popular, cobró impulso, debido a la insuficiencia de los fondos disponibles y al régimen de financiación independiente de las instituciones de I+D que dependen de diversos ministerios. El régimen de financiación de las instituciones de I+D dirigidas, por ejemplo, por los ministerios de agricultura proporciona sueldos y fondos de funcionamiento para las actividades corrientes de la institución. Por lo común, el volumen de los fondos de funcionamiento alcanza apenas para producir un resultado eficaz y de calidad. Con frecuencia, las instituciones luchan

para obtener más fondos, pero los procedimientos de financiación tradicionales de los ministerios no permiten asignar fondos suficientes. En consecuencia, los investigadores se suelen contentar con proseguir su labor como de costumbre y carecen de incentivos para buscar un apoyo adicional que suele llegar con condiciones y que, por tanto, resulta impopular para la comunidad de investigación. Casi todos los investigadores están acostumbrados a formular su propio programa de investigación, a definir sus propias prioridades y a informar de sus resultados de investigación en el tipo de publicaciones conveniente para su propia promoción; en general suelen oponerse a la evaluación exterior. La relación entre los investigadores y los administradores superiores ha adoptado una forma que parece satisfacer a ambas partes. Lo que hace falta es una intervención mediante políticas que supere esta cómoda relación y conduzca a una situación más realista para lograr los objetivos de política.

En conclusión, la mayoría de los Estados árabes ha invertido sumas importantes en la enseñanza superior y las instituciones de I+D. El hecho de que muchos Estados árabes hayan establecido organismos responsables de la política de C&T y hayan formulado además políticas de C&T era una condición necesaria, pero no suficiente para garantizar un sistema de C&T eficaz. Existen pruebas de que hay un gran desfase entre los objetivos de la política de C&D declarados en muchos países árabes y los instrumentos necesarios para alcanzarlos. El desfase entre los objetivos declarados y los mecanismos de ejecución suele ser aún más amplio en la I+D.

PRIORIDADES EN LA INVESTIGACIÓN, RESULTADOS ANTERIORES Y TENDENCIAS FUTURAS

Panorama general

Globalmente, en los últimos tiempos, los Estados árabes han sido más receptores que generadores de tecnología de I+D. Excepto algunos avances en relación con la agricultura y los recursos naturales, la aportación de la región árabe a la I+D mundial ha sido escasa en comparación con los países industrializados.

Los Estados árabes poseen el 61,8 % de las reservas petrolíferas del mundo y el 21 % de las reservas de gas. Asimismo, gozan de una situación geográfica que les brinda la posibilidad de explotar ampliamente la energía solar. Sus reservas minerales probadas son inmensas, especialmente en fosfato y potasio; en cambio, sus recursos hídricos son escasos. Esta circunstancia, el desierto y el clima árido que afecta al 82 % de la región árabe han limitado la superficie de tierra adecuada para la producción de alimentos básicos. El índice per cápita de recursos hídricos potencialmente renovables, de los cuales el 60 % se está ya utilizando, ha disminuido con los años hasta situarse en torno a los 1.100 metros cúbicos, una cifra que sólo equivale al 12 % de la media mundial. Para el año 2000, el volumen per cápita de agua realmente disponible para el consumo permanecerá, según las perspectivas de desarrollo potencial de los recursos hídricos más prometedoras, en torno al nivel actual, es decir, unos 550 metros cúbicos.

En la mayoría de los Estados árabes, el capital humano se ve aquejado globalmente de una debilidad estructural, con una universidad en la que el número de titulares de licenciaturas está en una proporción de 19 a 1 con respecto a las maestrías y doctorados. En una región que posee uno de los índices más altos de crecimiento de la población, el aumento de la demanda de alimentos, y de servicios sanitarios y educativos, continuará anulando si no todas al menos gran parte de las mejoras previstas en el PIB de la mayoría de los Estados árabes. La utilización de conocimientos prácticos en ciencia y tecnología, tanto para mejorar la calidad y la productividad del capital humano como para maximizar el valor añadido del aprovechamiento y elaboración de los recursos naturales, así como de los servicios conexos, parece ser la mejor manera, si no la única, de mejorar la calidad de vida en la región.

Logros anteriores y tendencias futuras de la investigación

Aunque los Estados árabes no disponen de importantes recursos agrícolas, su productividad en el sector alimentario ha mejorado sustancialmente en los últimos años. Esta mejora se debe, más que a la expansión de los recur-

sos, a la mejor utilización de los aportes de la C&T en el sistema de producción de alimentos. Es cierto que la proporción de tierra cultivable de la región respecto al total mundial ascendió al 3,8 % en 1992, cifra próxima al 4,2 % que representa su población respecto del total mundial. No obstante, el 80 % de los alimentos producidos provino de una zona de regadío que constituye el 25 % del total de tierra cultivable. A finales del decenio de 1980, los Estados árabes, intensificando la utilización de insumos de producción mejorados como semillas, fertilizantes, plaguicidas y técnicas de riego, consiguieron en algunas cosechas niveles de productividad comparables a los más elevados del mundo, un logro que no dejó de tener consecuencias negativas. Por ejemplo, se han explotado en exceso los recursos hídricos subterráneos de la región árabe, causando el deterioro de los acuíferos. Otra consecuencia ha sido el deterioro de la capacidad productiva de las tierras agrícolas de regadío debido a la alta salinidad y al monocultivo. Hasta ahora, los sistemas árabes de investigación agrícola han centrado sus esfuerzos en aprovechar al máximo los recursos, prestando poca atención a la productividad sostenida. Algunos Estados sufren un mayor grado de deterioro de la calidad y productividad de los recursos que otros; ya se han visto gravemente afectados los que cuentan en su territorio con vastas cuencas fluviales. Por otra parte, en la mayoría de los países cada vez existe una mayor disparidad entre el crecimiento de la población y el crecimiento económico. En varios Estados árabes se han puesto en marcha programas de planificación familiar que, sin embargo, es preciso aplicar efectivamente para lograr una mayor coherencia entre los índices de crecimiento de la población por una parte y las condiciones idóneas para obtener niveles aceptables de desarrollo humano por otra.

Los recursos minerales y de energía no renovable se están explotando a niveles sin precedentes. La preparación de métodos más eficaces de extracción minera y procesamiento se está convirtiendo en una prioridad. Con este fin, ya han empezado a realizarse modestos esfuerzos de investigación que es necesario intensificar para producir el efecto deseado. En muchos Estados árabes se han ini-

ciado investigaciones sobre la energía solar y eólica, pero se han centrado más en la evaluación y transferencia de tecnologías creadas en un medio ambiente diferente de los predominantes en la región árabe.

Los productos manufacturados se han destinado hasta ahora a los mercados nacionales y regionales árabes, prestando escasa atención a los mercados de exportación a escala internacional. Las nuevas condiciones comerciales son contrarias a las barreras comerciales nacionales y a las medidas que protegen productos de calidad inferior de los mercados nacionales. No cabe duda de que estas tendencias van a influir en el alcance y la calidad de las actividades de I+D de la industria manufacturera, especialmente en ámbitos en los que los Estados árabes disfrutaban de una relativa ventaja, como el turismo, el sector petroquímico, los fertilizantes, las técnicas de riego, los textiles y las industrias farmacéuticas.

En suma, los Estados árabes tienen la oportunidad de mejorar la eficacia de sus sistemas de C&T para facilitar la consecución de sus objetivos sociales y de desarrollo. Las experiencias pasadas y las nuevas realidades mundiales debieran posibilitar a los responsables la elección de opciones más realistas y la utilización de medios más eficaces para conseguir los objetivos deseados. Las tendencias emergentes en las actividades de C&T pueden resumirse de la manera siguiente:

- Elaboración de modelos para la ordenación de las aguas y los suelos, con objeto de optimizar y mantener la productividad de estos recursos, especialmente en los sistemas de producción con riego.
- Creación y desarrollo de técnicas para desalar el agua salobre y marina, conservar la calidad de los recursos hídricos existentes y utilizar el agua con la máxima eficacia en todos los sectores.
- Generación y desarrollo de técnicas para incrementar la eficacia de la extracción de petróleo y gas, así como de minerales. Sólo el incremento de un 1 % en la extracción de las reservas petrolíferas existentes supone un beneficio de decenas de miles de millones de dólares estadounidenses.
- Elaboración de estrategias e intervención realista para introducir la planificación familiar en las familias.

- Preparación de instrumentos para fomentar el apoyo del sector privado a las actividades de I+D y de servicio técnico en el ámbito del turismo, las manufacturas y la comercialización.
- Elaboración de modelos e instrumentos para mejorar la gestión en las oficinas gubernamentales, así como en empresas comerciales e industrias manufactureras del sector privado.
- Preparación de instrumentos e indicadores para supervisar y evaluar la labor de las universidades públicas y privadas.
- Revitalización de las actividades de I+D y de servicios técnicos, preparando y realizando intervenciones realistas para potenciar los vínculos entre los interesados y aplicar los marcos institucionales basados en la competitividad y productividad de los recursos humanos en ciencia y tecnología.

ENTORNO LABORAL DE LA COMUNIDAD CIENTÍFICA

Los científicos árabes desarrollan su labor en condiciones que pueden ir desde muy buenas hasta inadecuadas. Por lo común, las instituciones que operan en Estados ricos o que disfrutaban de condiciones económicas y políticas estables ofrecen entornos laborales que atraen a los científicos. En estas instituciones, los científicos cobran sueldos de buenos a moderados, gozan de una serie de incentivos y beneficios complementarios y pueden ejercer la enseñanza, y llevar a cabo su labor de investigación y de servicio a la comunidad de forma satisfactoria. En cambio, las instituciones de países con dificultades económicas o tensiones sociales y disturbios civiles están sometidos a una serie de limitaciones que van desde sueldos bajos en comparación con los niveles regionales e internacionales, a graves deficiencias en el entorno necesario para el ejercicio normal de las funciones científicas.

Durante varios años se analizaron los presupuestos de unas 30 universidades y centros importantes de I+D. Invariablemente, cuando los presupuestos están sometidos a

recortes, las partidas más afectadas son las que tienen una influencia directa en la calidad de los resultados. Se observó que, por lo común, los recortes presupuestarios afectaban a las partidas en el orden que se indica a continuación:

- Fondos destinados a apoyar la investigación en las universidades.
- Fondos destinados a la adquisición de nuevos libros, material de referencia y suscripciones a nuevas publicaciones.
- Reducción de las suscripciones a determinadas publicaciones.
- Partidas destinadas al mantenimiento.
- Material y equipo de enseñanza o investigación.
- Fondos para asistir a conferencias en el extranjero.
- Creación de nuevos puestos de investigador, profesor y personal auxiliar.

Desde mediados del decenio de los ochenta, la mayoría de las instituciones C&T de los Estados árabes, a excepción de los del Golfo, se han visto afectadas por unos bajos niveles de financiación que, si bien evidentemente con intensidad variable, han empeorado las condiciones laborales de los científicos. Consecuencia de ello es la emigración masiva de científicos árabes al extranjero en busca de mejores condiciones de trabajo. En 1990-1991, las estadísticas muestran que se encontraban trabajando fuera de su país pero dentro de la región árabe 6.800 científicos árabes, de los cuales el 89 % poseían un doctorado. Esta cifra representaba el 11 % del total de los titulares de doctorado que trabajaban en todas las universidades e instituciones de I+D árabes. Una segunda categoría de científicos que trabaja fuera de sus instituciones son los contratados en su propio país por empresas o universidades del sector privado. En 25 universidades situadas en cuatro Estados árabes, el número total de doctores que disfrutaban de un permiso representaba entre el 8 % y el 15 % del número total de miembros del personal de cada una de las universidades.

No se dispone de estadísticas sobre los científicos árabes que han emigrado a países fuera de la región. Sin embargo, el informe de 1993 «Indicadores de la Ciencia y la Técnica de la Junta Nacional de Ciencia de los Estados

Unidos» situaba en 1.600 el número total de científicos e ingenieros procedentes de la región del Próximo y Medio Oriente que inmigraron en 1991. Asimismo, indicaba que el 29 % de los titulares de un doctorado procedentes de países del Asia Occidental tenían la firme intención de permanecer en los Estados Unidos.

Las repercusiones de la fuga de cerebros temporal, y quizás permanente, en la región no se ha estudiado en profundidad. Las instituciones que conceden a su personal permisos para ausentarse tienen a menudo problemas de insuficiencia de docentes en proporción al número de estudiantes. Hay no obstante quien aduce que la emigración temporal de científicos resulta positiva por la transferencia de experiencias que supone. Hasta ahora, sin embargo, no se dispone de información fidedigna sobre los efectos de dicho movimiento en la labor de las instituciones de C&T de la región árabe.

COOPERACIÓN Y ASISTENCIA INTERNACIONAL ÁRABE: ÁMBITOS PRIORITARIOS

Aunque los Estados árabes han alcanzado diferentes niveles de desarrollo, entre otras cosas la capacidad en C&T, es posible identificar determinadas necesidades comunes, ya sea a todos los Estados, a la mayoría o a agrupamientos subregionales. Seguidamente figura una breve recapitulación de algunos de los aspectos que precisan intervención internacional para acelerar las mejoras:

- Los modelos de gestión de recursos son instrumentos que se han necesitado siempre, pero su utilización ha llegado a ser apremiante en los últimos años. La finalidad de los modelos de gestión es mejorar la productividad de los recursos humanos, financieros y naturales para optimizar sus resultados. Algunos de estos instrumentos han resultado tener una aplicación universal o regional y pueden transferirse sin apenas ser modificados, en tanto que otros deben ser adaptados a las características culturales específicas.
- La elaboración de instrumentos de políticas de C&T. Tanto la enseñanza superior como la investigación son

actividades costosas y muchos países árabes carecen de los recursos para mantener instituciones complejas de C&T en todas las zonas. Hasta ahora, los objetivos de las políticas han sido a menudo, en comparación con los medios disponibles, demasiado ambiciosas, si no totalmente irrealistas. Por ejemplo, todas las universidades públicas cumplen supuestamente tres funciones que requieren fondos importantes: estudios de posgrado, investigación y servicio comunitario. Tales objetivos pueden ser legítimos cuando en un Estado sólo hay una universidad. Pero la mayoría de los Estados árabes cuenta al menos con cuatro universidades o establecimientos universitarios; en el 50 % de los Estados existen como mínimo ocho y su número crece cada año. La financiación con que cuenta la mayoría de estas instituciones, a excepción de las implantadas en los Estados exportadores de petróleo del Golfo, es escasa y, simplemente, es inadecuada, por no decir más, para alcanzar los objetivos fijados. Lo que se necesita es elaborar instrumentos para las políticas e indicadores de la eficacia de las instituciones, a fin de que sirvan de base a las decisiones que hayan de adoptarse y racionalicen la utilización de los recursos con un enfoque más realista.

- El fomento del diálogo entre las autoridades. Las universidades árabes tienen una asociación con miembros procedentes de prácticamente todos los Estados árabes; también, las juntas y los ministerios de investigación cuentan con una unión panárabe. Lamentablemente, ambos órganos arrojan déficit presupuestarios, situación que ha limitado las actividades para fomentar el diálogo y el intercambio de experiencias entre las autoridades de las instituciones de C&T. Ambas organizaciones, a saber, la Asociación de Universidades Árabes y la Unión de Juntas de Investigación Científica, pueden no obstante seguir sirviendo de foro para discutir diferentes enfoques realistas en relación con las políticas de C&T. Se requiere apoyo externo para las reuniones destinadas a establecer un intercambio de experiencias sobre la movilización de fondos en apoyo de las actividades de

C&T, y definir criterios para evaluar la responsabilidad de la investigación, y a establecer prioridades en función de los recursos disponibles y la masa crítica necesaria para conseguir resultados satisfactorios.

Subhi Qasem nació en Jordania, donde estudió agronomía antes de completar su formación en la Universidad del Estado de Kansas y la Universidad de Minnesota en los Estados Unidos.

De vuelta a Jordania, trabajó durante cinco años con el Ministerio de Agricultura antes de ingresar en la Universidad de Jordania, donde ocupó el cargo de profesor asociado y profesor de patología vegetal, y más tarde decano de la Facultad de ciencia y agricultura.

El Sr. Qasem fue Ministro de Agricultura en 1991 antes de establecerse como asesor en 1992. En el área de la educación en ciencia y tecnología y en investigación y desarrollo, asesora a numerosas entidades nacionales e internacionales incluyendo la UNESCO, la FAO, la UNDP, el Banco Mundial, la UNEP, ALECSO, IDRC y USAID. Acaba de concluir un estudio capital para la UNESCO sobre los indicadores de la ciencia y la tecnología en los Estados árabes.

BIBLIOGRAFÍA

- Fondo Árabe para el Desarrollo Económico y Social, y otros (1993). *The 1993 Unified Arab Economic Report*, Kuwait.
- National Science Board (1993). *Science and Engineering Indicators*. Washington, DC., Imprenta del Gobierno de los Estados Unidos.
- Qasem, S. (1990). *La enseñanza superior en el mundo árabe*. Foro de Reflexión Árabe, Ammán, Jordania, 222 págs. (en árabe).
- Qasem, S. (1995a). *The Higher Education System in the Arab States: Development of S&T Indicators*. El Cairo, UNESCO.
- (1995b). *R&D Systems in the Arab States: Development of S&T Indicators*. El Cairo, UNESCO.

África

THOMAS R. ODHIAMBO

En los umbrales del tercer milenio, el continente africano sigue estando profundamente influido por tres cosas. En primer lugar, la profunda herida psíquica que han dejado cinco siglos de diáspora y la dominación colonial, cuyo ciclo histórico finalizó apenas en mayo de 1994 cuando la República de Sudáfrica abolió oficialmente el régimen de apartheid y conquistó la libertad de forma democrática. En segundo lugar, la fragmentación y parcelación de África en entidades arbitrarias por los poderes coloniales en los últimos decenios del siglo XIX. Este acto geopolítico irracional fue la causa de por lo menos dos problemas intrincados: la exacerbación de las distintas rivalidades étnicas en África y la creación de toda una serie de Estados-naciones minúsculos. De los 53 Estados africanos existentes, 22 son micro-Estados, cada uno con menos de 5 millones de habitantes, y otros 12 son mini-Estados, con una población de entre 5 y 10 millones de habitantes solamente. Si a esto se añade la herencia colonial de riguroso control de las fronteras, el establecimiento de relaciones transfronterizas de comunicación, cooperación y comercio se topa con tremendos factores disuasivos. En realidad, existen vínculos históricos mucho más fuertes con las ex potencias coloniales que con los países africanos vecinos. En tercer lugar, desde principios de los años 1970, África se ha ido empobreciendo a un ritmo constante, a pesar de la inmensa variedad y riqueza de sus recursos naturales, y se ha endeudado cada vez más con acreedores bilaterales (el 64 % de toda la deuda) y con organismos de financiación multilaterales, en especial el Banco Mundial, el Banco Africano de Desarrollo y el Fondo Monetario Internacional, con los cuales África ha contraído el 19 % de toda su deuda. Las estrategias de reducción de la deuda en África han resultado ineficaces y no han contenido el aumento constante del importe de la deuda externa. Sin embargo, los organismos de financiación multilaterales no han querido cancelar sus deudas, ni siquiera reescalonarlas. Por consiguiente, la deuda externa africana se ha vuelto, de hecho, irreembolsable.

En ese contexto debe situarse el papel decisivo de la ciencia y la tecnología en el desarrollo futuro de África y en su contribución al fomento del conocimiento científico en todo el mundo.

LA ENSEÑANZA SUPERIOR EN CIENCIAS: NUEVAS TENDENCIAS

El sistema universitario africano se encuentra en una crisis cada vez más profunda desde mediados del decenio de 1970. El aspecto material de la crisis es el más obvio: las residencias de estudiantes, las aulas y los laboratorios abarrotados; las bibliotecas mal provistas y anticuadas; los laboratorios insuficientemente equipados; los talleres con máquinas descompuestas; los profesores sobrecargados de trabajo, cuya remuneración es tan baja que tienen que realizar una segunda actividad para sobrevivir; un pequeño grupo de estudiantes de posgrado que pasan 2-3 años después del periodo normal antes de poder finalizar sus estudios; disturbios estudiantiles frecuentes y ocasionales huelgas pasivas del personal; y una burocracia administrativa abrumadora. Lo que es menos visible para el observador eventual es la escasa relación que guarda la universidad africana contemporánea con la comunidad y la sociedad de África.

En 1972, la Asociación de Universidades Africanas (AUA) organizó una importante conferencia en Accra (Ghana) sobre el tema «Crear la universidad africana», a fin de estudiar los problemas que se planteaban apenas un decenio después de que la era de independencia política comenzara de verdad. La conferencia decidió que su principal objetivo era replantear la finalidad de la universidad africana como «universidad para el desarrollo» y, para ello, asignarle cinco funciones especiales: crear una comunidad académica africana; elaborar programas de estudios que respondan a los problemas, la economía y la sociedad de África; terminar con la dependencia académica y administrativa con respecto a universidades pertenecientes a las ex potencias coloniales; introducir, por primera vez, la enseñanza de lenguas africanas en las instituciones universitarias; y participar en el desarrollo nacional.

Si bien se han realizado enormes progresos en la aplicación de la visión de la universidad africana propuesta por la AUA en 1972, han surgido nuevos problemas: un aumento de la población estudiantil contrapuesto a una disminución de los presupuestos universitarios; el incre-

mento del número de titulados desempleados ante la creciente liberalización de la economía; un empeoramiento de la confrontación entre estudiantes y administraciones universitarias, así como entre universidades y gobiernos en el contexto de la democratización política; y la necesidad vital de una masa crítica de especialistas y empresarios para contrarrestar la creciente marginación de las economías africanas. Todo ello llevó a la AUA a organizar una segunda reunión de estudio sobre la universidad africana en este nuevo contexto geopolítico y geoeconómico.

En enero de 1995, se celebró en Maseru (Lesotho) una conferencia internacional de rectores de casi 100 universidades africanas sobre el tema «La universidad en África en los años 1990 y después» cuyo objeto era proponer medidas concretas para atajar la decadencia de la universidad africana y reactivar su función en el desarrollo de África (AUA, 1995). La conferencia reconoció que la producción y el desarrollo económico basados en el conocimiento se habían convertido en la norma en todo el mundo y que, en este sentido y en otros, los viejos modelos de universidad aún vigentes en África se habían vuelto anacrónicos; que la nueva universidad africana debía responder a las apremiantes necesidades del desarrollo y de la sociedad mediante el poder del conocimiento; que el aprendizaje se había convertido en realidad en un proceso de toda la vida; y que uno de los principales objetivos debía ser que la opinión pública percibiese la universidad africana como la impulsora de la transformación de la sociedad. Una de las consecuencias de la reunión de Maseru es que la AUA está estableciendo en varias universidades un programa de formación e investigación en áreas clave del desarrollo, empezando por la gestión ambiental y la biotecnología.

Los organismos donantes han observado estos movimientos recientes y han adoptado paralelamente sus propias medidas. En junio de 1995, un pequeño grupo de donantes convocó una conferencia internacional en Uppsala (Suecia) sobre el tema «Apoyo de los donantes a la investigación en ciencias básicas orientada hacia el desarrollo» (Programas Científicos Internacionales, 1995). Su preocupación era que, ante la prisa de los países en desarrollo por enfocar la ciencia y la tecnología únicamente

Una Universidad Africana de la Investigación

A través de su programa Prioridad África, la UNESCO está financiando un proyecto en el Foro de Investigación y Desarrollo para el Desarrollo de África impulsado por la Ciencia (RANDFORUM), con sede en Nairobi (Kenya), en el que un pequeño grupo de planificadores está elaborando un plan piloto para el establecimiento de un modelo de universidad africana diferente: una pequeña Universidad Africana de la Investigación, altamente especializada. El campus principal de esta Universidad de la Investigación será un centro de excelencia existente en un área estratégica prioritaria para África, como la medicina tropical, la elaboración y aplicación de programas informáticos y las ciencias marinas y geológicas, que estará vinculado a otros seis o más centros de excelencia en África. Esta red, que funcionará con programas de educación a distancia, constituirá la Universidad de la Investigación, centrada en la enseñanza de posgrado, la investigación para el desarrollo y la labor de asesoría. Establecerá fuertes vínculos funcionales con la comunidad anfitriona y el sector productivo. Con tal cometido, la Universidad de la Investigación guardará una estrecha relación con los problemas y necesidades del sector productivo, la comunidad y los objetivos nacionales de desarrollo. Contribuirá asimismo al enriquecimiento del saber mundial y a la integración de África. Este nuevo modelo de universidad se hará público a mediados de 1996.

desde el punto de vista de su utilidad para las innovaciones técnicas, se corría el peligro de que las fuentes de nuevos conocimientos científicos se agotaran a largo plazo. Era necesario, por consiguiente, aplicar medidas correctivas y reforzar las ciencias básicas (biología, química, física y matemáticas) como fundamento de la educación y la tecnología indígenas. Tras haber declarado que «es indispensable un fundamento en ciencias básicas para toda investigación en ciencias aplicadas y para el desarrollo a largo

plazo»; que «las instituciones nacionales de los países en desarrollo deben formular una estrategia de apoyo a las ciencias básicas encaminada a la resolución de los problemas de desarrollo particulares de cada país»; y que «los temas de investigación en ciencias básicas deben escogerse cuidadosamente en función de las futuras necesidades de desarrollo de cada país», la conferencia de Uppsala recomendó la adopción de medidas en cinco ámbitos:

- la creación de capacidad en ciencias básicas, formando especialistas de primer orden en cada país mediante una investigación encaminada a la resolución de problemas;
- el apoyo a la investigación y la enseñanza superior en ciencias básicas mediante, por ejemplo, el apoyo a la creación de capacidad en biología molecular en la financiación de proyectos relacionados con la salud;
- una mayor coordinación y cooperación entre organismos donantes en cada país, como han demostrado eficazmente los esfuerzos de coordinación de la Universidad Eduardo Mondlane de Mozambique; esta cooperación de los donantes es necesaria para los programas de posgrado organizados regionalmente y para los programas de formación e investigación entre países del Sur;
- el establecimiento de tecnologías de la información modernas (por ejemplo, sistemas de CD-ROM y conexiones de correo electrónico) a fin de tener fácil acceso a bibliotecas y fuentes de documentación; y
- la rehabilitación general de la infraestructura de investigación y docencia de la mayoría de las universidades africanas, a las que se debe dotar de los nuevos equipos adecuados, como condición sine qua non para el desarrollo de capacidad en ciencia y tecnología.

La rehabilitación y el suministro de nuevo equipo en los sectores de ciencia y tecnología de las principales universidades africanas (unas 200) requerirá probablemente por lo menos un decenio y una inversión de unos 6.000 millones de dólares. Ésta es una suma considerable para los gobiernos africanos, que poseen el 98 % de estos establecimientos y ejercen el control sobre su dirección y admi-

nistración. Teniendo en cuenta su naturaleza conservadora, convertir a estos establecimientos en fuerzas de transformación dinámicas será una difícil tarea que exigirá una dedicación excepcional.

Todas esas tentativas recientes de renovar la universidad africana son una manera de garantizar el pleno desarrollo de los talentos africanos y de inculcar en ellos un espíritu más emprendedor. Entre ellas está la voluntad de que las mujeres participen plenamente en la vida universitaria, como estudiantes y profesoras. En la actualidad, según el *Anuario Estadístico de la UNESCO 1993*, el porcentaje de estudiantes del sexo femenino en ciencias naturales, informática, medicina y agricultura es bajo (entre el 8 y el 40 %) y en ciencias técnicas más bajo aún (por lo general menos del 10 %) (véase en el presente *Informe* el capítulo redactado por la profesora Lydia Makhubu titulado «Las mujeres en la ciencia: el caso de África»).

Habida cuenta de la función clave que desempeñan los recursos humanos en la economía moderna, la enseñanza superior universitaria y politécnica es una contribución importante a la solución de la actual crisis de desarrollo de África.

ESTRUCTURA Y ORGANIZACIÓN DE LA CIENCIA EN ÁFRICA

Otra contribución a la solución a largo plazo de la crisis actual de África es la organización de empresas científicas africanas que respondan a una demanda y persigan un objetivo.

La nueva tipología de la estructura y organización de la ciencia y la tecnología en África parece tener la configuración siguiente:

- *En los planos regional y continental*, la Organización de la Unidad Africana (OUA) fija su orientación política, en tanto que la Comisión Económica de las Naciones Unidas para África (UNECA), bajo la coordinación de la Comisión Científica, Técnica y de Investigación de la OUA (OUA/STRC), como se indica en el *Informe Mundial sobre la Ciencia 1993* de la UNESCO. Des-

de entonces, se restableció (a mediados de 1994) el Consejo Científico de África (SCA) bajo los auspicios de la OUA/STRC, como el principal órgano normativo consultivo de C&T de la OUA, después de haber permanecido inactivo durante casi 15 años. Además, los protocolos de política científica y tecnológica se formulan en los instrumentos firmados en 1995 en Abuja (Nigeria) que prevén el establecimiento de la Comunidad Económica Africana para el año 2025.

■ *En el plano nacional*, desde principios de los años 1970, a iniciativa de los gobiernos, se ha creado un tipo de organismo normativo consultivo de C&T, con algunas variantes, según un modelo propuesto por la UNESCO en los primeros años de la independencia política, a fin de reemplazar las estructuras coloniales cuya dirección y control incumbía antes a un órgano normativo metropolitano. La universidad ha desempeñado a menudo un papel decisivo en estos organismos. En algunos casos, desde principios de los años 1980, después de la Conferencia de Viena de 1982 sobre Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, algunos gobiernos africanos crearon ministerios de C&T (o sus variantes), manteniendo al mismo tiempo el organismo normativo consultivo de C&T como un mecanismo consultivo aparte. En casi todos los casos, la industria no ha desempeñado un papel importante en la formulación de las políticas ni en su revisión. En principio, la política científica y tecnológica debía ser un elemento estratégico en el plan de desarrollo nacional y en su aplicación; sin embargo, rara vez lo es, salvo en la producción competitiva de los principales productos de exportación.

■ *En el sector privado*, las principales innovaciones o bien provienen de los organismos de investigación científica y desarrollo tecnológico (I+D) de las empresas extranjeras, situados en sus respectivos países de origen, o bien se adquieren en forma de bienes de capital o de proyectos llave en mano. Son insignificantes los esfuerzos de resolución de problemas de I+D emprendidos por las industrias manufactureras en la mayoría de los países africanos.

■ *En el plano intelectual y profesional*, en los tres últimos decenios han aparecido una serie de establecimientos, casi siempre sucursales o filiales nacionales de asociaciones profesionales o instituciones colegiadas establecidas desde hace tiempo (por ejemplo, para las profesiones médica, bancaria, contable, jurídica y de gestión), o bien nodos de redes internacionales (como para los investigadores académicos, las sociedades científicas y las asociaciones técnicas). Estos nexos están muy orientados hacia el exterior y sus puntos de referencia profesionales se basan en criterios mundiales, propios de los países industrializados.

■ *La Academia de Ciencias*, como organización prestigiosa destinada a reconocer la excelencia y los logros y a fomentar el progreso científico, ha hecho su aparición recientemente en el continente (Odhiambo, 1983). La mayoría de las academias de ciencias nacionales, como las de Marruecos, Nigeria y Kenya, han seguido el modelo europeo y son organizaciones privadas de académicos, publican revistas, pronuncian discursos y conferencias, conceden premios por logros científicos sobresalientes y, cuando se solicita su intervención, asesoran a los gobiernos en materia de política científica y tecnológica. La Academia de Ciencias de Ghana siguió un camino distinto, aplicando hace cuatro decenios el modelo de organismo ejecutivo de las antiguas academias de ciencias de los países de Europa Oriental, a las que estaban subordinados todos los organismos de investigación. La Academia de Ghana se ha apartado considerablemente de este modelo, pero sigue manteniendo estrechas relaciones con el gobierno. La Academia Africana de Ciencias, creada en diciembre de 1985, es un caso completamente distinto. Es una organización con miembros en todo el continente, probablemente la única en su género. No es una federación de academias nacionales, ni una organización matriz. Su cometido principal es fomentar un desarrollo basado en la ciencia a través de sus propias actividades programáticas, como las relativas a la creación de capacidad (sobre gestión de tierras y aguas, investigación silvícola y las pasantías en ciencias para

mujeres, por ejemplo). Es una de las instituciones independientes que empiezan a aparecer ahora en África.

Todas esas estructuras de C&T tienen que resolver todavía, de forma sistemática y de largo alcance, el problema de los derechos de propiedad intelectual, ahora que África empieza a participar en la producción y la comercialización competitiva en los mercados africanos e internacionales. En realidad, si bien la Organización Africana de la Propiedad Intelectual (OAPI), con sede en Yaoundé (Camerún), creada en 1962, y la Organización Regional Africana de la Propiedad Intelectual (ARIPO), con sede en Harare (Zimbabwe), creada en 1976, se fundaron para establecer nuevos mecanismos que no dependieran del registro original de inventos, innovaciones, marcas y diseños industriales efectuado en las capitales de las ex potencias coloniales, queda aún por demostrar la eficacia operacional de los nuevos mecanismos basados en África (Ojwang', 1989). Además, las nuevas preocupaciones de que se hizo eco la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro en 1992, en especial las relativas a la diversidad biológica, las patentes de genes y la prospección química, así como los asuntos planteados por la finalización de la ronda Uruguay del Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio (GATT), en particular los relativos a las obligaciones de cada Estado de proteger la propiedad intelectual en sus respectivos territorios, son cuestiones que exigen ahora una atención urgente en África, especialmente en relación con la explotación adecuada de sus propios recursos biológicos y su inmenso corpus de conocimientos comunitarios tradicionales, por ejemplo para conferir una base científica racional a la medicina a base de hierbas.

En la actualidad, el problema clave en África no es la protección de las patentes extranjeras y otro tipo de propiedad industrial (marcas registradas, modelos funcionales, marcas de fábrica y diseños industriales). Éstas gozan ya de una protección suficiente gracias a los múltiples convenios firmados por los distintos Estados africanos. La preocupación principal es cómo podrá África incitar a sus inventores, innovadores, empresarios y capitalistas a crear,

producir y comercializar de forma competitiva soluciones específicas que respondan a sus necesidades tecnológicas basadas en la demanda.

Algunas iniciativas privadas han permitido ya la constitución de asociaciones de inventores en el Congo, Côte d'Ivoire, Egipto, Kenya, Marruecos, Senegal, Sudán, Tanzania, Zaire y Zimbabwe. La Asociación de Inventores del Congo, particularmente dinámica, promueve el trabajo inventivo de los jóvenes, organiza exposiciones de inventos e innovaciones y lleva a cabo programas de información para el público en general. No obstante, queda aún por construir y mantener una relación de sinergia con el sector productivo.

GASTOS DEDICADOS A LA INVESTIGACIÓN

La financiación de la investigación y el desarrollo en África procede de cuatro fuentes principales:

- *El presupuesto gubernamental* alimenta los organismos de investigación, que son en su gran mayoría órganos paraestatales del gobierno. Como se destaca en el *Informe Mundial sobre la Ciencia 1993*, el apoyo gubernamental global a la investigación y el desarrollo en África es el más bajo de todas las regiones del mundo. Sin embargo, esta financiación gubernamental es, con mucho, la fuente principal de fondos para las actividades de I+D en el continente, con excepción tal vez del sector agrícola (Bhagavan, 1989), como muestra el ejemplo de la financiación de la investigación y el desarrollo en Etiopía en un periodo de 10 años a partir de 1974 (véase Cuadro 1).
- *El propio comercio, mediante un impuesto de I+D*, participa en la financiación. Esto se ha conseguido con éxito en las industrias del henequén, el pelitre, el café y el té. Así, por ejemplo, la Fundación de Investigación sobre el Té de África Oriental recauda la totalidad de sus fondos de I+D mediante un impuesto exigido a cada productor de té, sea a nivel del campesino o de la plantación. Los productores en su conjunto participan plenamente en la ejecución del programa de I+D, desde la producción misma hasta el producto procesado y embalado. Gracias

CUADRO 1
PRESUPUESTO ASIGNADO A LA INVESTIGACIÓN
Y EL DESARROLLO EN ETIOPÍA POR EL GOBIERNO
Y POR DONANTES EXTRANJEROS DE 1974-1975 A 1983-1984

Sector	Presupuesto de I+D	
	Total (en millones de birrs)	Apoyo de donantes como porcentaje del total
Alimentos y agricultura	98,1	53,2
Industria y tecnología	6,7	3,6
Recursos naturales	49,8	27,0
Salud	16,9	9,2
Construcción	5,9	3,2
Educación y cultura	0,7	0,4
Otros	6,2	3,4
Total	184,3	100,0

Fuente: Bhagavan, 1989.

a este método basado en la demanda, encaminado a la resolución de los problemas y participativo, así como al sistema de comercialización eficiente que ha funcionado durante el último medio siglo –esto es, un mercado de subasta del té en el principal puerto de África Oriental, Mombasa–, la industria del té de esa región, regida por métodos científicos, es altamente competitiva en el mercado mundial.

■ *Los organismos donantes*, a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y los organismos especializados de las Naciones Unidas (UNESCO, ONUDI, FAO, OMS, etc.); el Fondo OPEP para el Desarrollo Internacional y otras organizaciones de desarrollo regionales (por ejemplo, el Fondo Árabe de Desarrollo Económico y Social); los fondos de asistencia técnica del Banco Africano de Desarrollo (BAfD) y el Banco Mundial; los organismos nacionales de desarrollo extranjeros, por ejemplo, el Centro de Investigaciones para el Desarrollo Internacional de Canadá (IDRC), el Organismo Japonés de Cooperación

Internacional (JICA) y el SAREC de Suecia; las fundaciones filantrópicas privadas (la Fundación Rockefeller, la Carnegie Corporation de Nueva York, la Fundación Nuffield y la Fundación Sasakawa); y los mecanismos de financiación internacionales independientes creados por varias instituciones, como la Fundación Científica Internacional (para la acuicultura, la producción ganadera, los cultivos científicos, la silvicultura y la agrosilvicultura), la Academia de Ciencias del Tercer Mundo (TWAS) (para repuestos de equipo, conferencias científicas y cooperación en investigación entre países del Sur) y la Academia Africana de Ciencias (AAS) (para la creación de capacidad en gestión de tierras y aguas, investigación silvícola e investigación sobre educación para mujeres).

■ *La financiación mediante empréstitos*, a través de programas de préstamos específicos negociados con el Banco Mundial y el BAfD. Los programas de préstamos recientes se han destinado a la enseñanza superior (Nigeria y Kenya), la investigación y el desarrollo agrícolas (Sudán y Uganda) y el mejoramiento del arroz (países de la Comunidad Económica de los Estados de África Occidental, ECOWAS). Esos préstamos se han negociado a tasas de interés sumamente bajas, de un 0,5-1,0 %, para 25-40 años, con un periodo de gracia de 5-10 años. Habida cuenta del extraordinario grado de endeudamiento de África con acreedores externos, incluidos los organismos de financiación multilaterales, estos préstamos de bajos intereses son la única posibilidad que queda de obtener capitales importantes para la rehabilitación de la infraestructura de I+D, que se ha deteriorado tanto en los dos últimos decenios, y de iniciar nuevos programas de interés estratégico para el desarrollo nacional. No obstante, sería preferible disponer de subsidios de asistencia técnica, aunque su volumen es relativamente reducido. Entre 1974 y 1992, la filial del BAfD para la financiación con bajos intereses, el Fondo Africano de Desarrollo (FAfD), desembolsó en total 517,14 millones de FUA (aproximadamente el 6,5 % de la totalidad de los préstamos y concesiones de subsidios del FAfD en ese periodo) destinados a todos

los Estados africanos y los organismos de I+D. (Cada FUA es una unidad de cuenta equivalente a un derecho especial de giro, la unidad de cuenta del FMI.) A partir de principios de los años 1980 ha habido un notable incremento de los subsidios de asistencia técnica (BAfD, 1993).

En vista de la creciente precariedad de la financiación gubernamental para las actividades de I+D en África, los fondos aportados ahora de manera tan evidente por los organismos donantes y la muy escasa contribución a la investigación y el desarrollo industriales por parte del gobierno o de la industria manufacturera, están empujando a surgir en el continente mismas nuevas formas más seguras de financiación de estas actividades.

En el plano nacional, varios países (Ghana, Botswana, Sudáfrica, etc.) están creando fundaciones con apoyo gubernamental para financiar determinadas áreas de I+D, así como la creación de capacidad necesaria en estos campos. Estas fundaciones nacionales reciben asignaciones anuales del presupuesto gubernamental y al mismo tiempo se las insta a conseguir fondos del sector privado.

En el plano continental se está creando un nuevo sistema de financiación por dotación: la Fundación Africana para la Investigación y el Desarrollo (AFRAND). Sus estatutos se aprobaron el 22 de julio de 1994 en Maputo (Mozambique) en una ceremonia a la que asistieron varios Jefes de Estado, durante la segunda reunión anual del Foro Presidencial sobre la Gestión de la Ciencia y la Tecnología para el Desarrollo en África. Sus órganos rectores se han creado ya y empezará a funcionar a principios de 1996 en su sede de Lilongwe (Malawi). Hace poco inició su programa de movilización de fondos, que comprende: la recaudación de un subsidio único de cada Estado africano participante; subsidios de organismos filantrópicos y de desarrollo; la creación de un fondo de aportación obligatoria para todos los asociados en el desarrollo de África basado en la ciencia, ya sean individuos, instituciones o empresas: el Fondo Fiduciario del Milenio Africano; y las negociaciones para el plan de «canje de la deuda por la ciencia» (DFSS) con respecto a una cartera oficialmente asignada de deuda externa negociada con ese fin. La

mayoría de esos fondos se invertirán prudentemente como un fondo de dotación, cuyos ingresos se asignarán a los programas prioritarios de importancia estratégica para África.

Si la AFRAND logra desempeñar el papel que se le asignó de convertirse en el principal mecanismo de financiación para el próximo modelo de desarrollo de África basado en la ciencia, habrá hecho época como el gran avance que tanto necesita el continente. La AFRAND forma parte, en efecto, del sector independiente, cuya importancia va en aumento, al igual que los promotores de las consultas en todo el continente iniciadas en 1988 que llevaron a la postre a su creación: la AAS, la TWAS y el Centro Internacional de Fisiología y Ecología de los Insectos (ICIPE). Uno de los puntos fuertes de la AFRAND, y también una de sus posibilidades más prometedoras, es que existe ya un poderoso medio de mantener un entorno geopolítico propicio para las actividades de I+D y un desarrollo de África basado en la ciencia: el Foro Presidencial. Además, las principales asociaciones económicas y de desarrollo participan directamente en la Fundación Africana a través de los tres grupos de reflexión que ha tenido a bien crear: la Mesa Redonda de Asesores Científicos para un Desarrollo de África basado en la Ciencia, la Mesa Redonda de Empresarios Africanos orientados hacia la Tecnología y la Mesa Redonda de Creadores de Capacidad en África. Otra de las posibilidades es que la AFRAND se esfuerce por movilizar los recursos intelectuales africanos en todo el mundo a través de su programa sobre Científicos y Especialistas Africanos con Dificultades y Expatriados (DESSA), cuyo plan de aplicación recibió el apoyo del Foro Presidencial en su tercera reunión anual, celebrada en Kampala (Uganda) el 24 y 25 de julio de 1995.

En el plano internacional, dos iniciativas recientes revisten especial importancia. La primera es la creación, hace unos cinco años, de la Fundación Africana de Creación de Capacidad, con sede en Harare, Zimbabwe, a iniciativa del Banco Mundial, el PNUD y el BAfD. Aunque su cometido principal es la creación de capacidad para la gestión de la economía africana, converge desde luego en más de un sentido con la AFRAND y con los esfuerzos

africanos en el sector de I+D. La segunda iniciativa corre por cuenta de la UNESCO que creó hace dos años, en el marco de su programa Prioridad África, un Fondo Internacional para el Desarrollo Tecnológico de África, con una dotación inicial de un millón de dólares a la que se añadirán posteriormente contribuciones de otros donantes. La UNESCO ha empezado a utilizar los ingresos netos de este Fondo para financiar proyectos innovadores dentro de su programa de vinculación de la universidad y la industria (UNISPAR).

POLÍTICAS CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

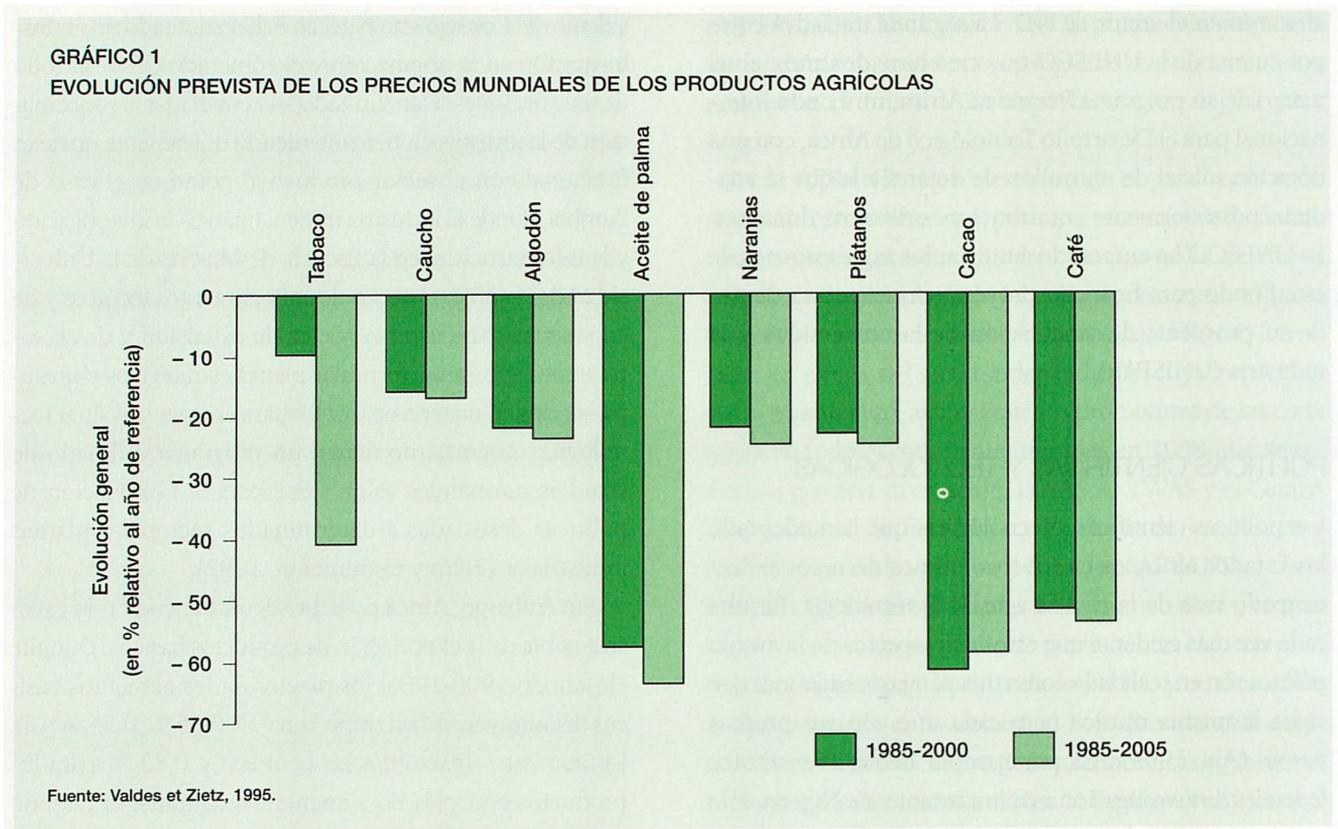
Las políticas científicas y tecnológicas que han adoptado los Estados africanos en los tres últimos decenios se han ocupado más de la ciencia que de la tecnología. Resulta cada vez más evidente que estos dos aspectos de la misma política son en realidad «como una pareja de bailarines que sigue la misma música pero cada uno con sus propios pasos» (Aju, 1994). Así, por ejemplo, de los 25 institutos federales de investigación más importantes de Nigeria, sólo cuatro se ocupan de investigación industrial. Aun así, esos cuatro institutos de investigación industrial han ejercido escasa influencia en el desarrollo económico de Nigeria, cuya industria manufacturera sigue dependiendo de la tecnología, las materias primas y los bienes intermedios importados.

Se puede incluso ir más lejos, más cerca de la raíz del problema, y sostener algo muy evidente, a saber, que los investigadores y analistas de la políticas científicas y tecnológicas mantienen relaciones insuficientes con la industria (Tiffin y Osotimehin, 1992). Si se toma como ejemplo la Comunidad del África Meridional para el Desarrollo (SADC), se advierte que, si bien se han creado organismos nacionales de C&T en algunos de los países de la SADC —el Centro de Tecnología de Botswana, el Consejo Nacional de Investigación de Malawi, la Comisión de Ciencia y Tecnología de Tanzania, el Consejo Nacional de Investigación Científica de Zambia y el Consejo de Investigación de Zimbabwe, que presentan informes a través de ministros, salvo en Zambia, donde el Primer Ministro es el pre-

sidente del Consejo— no parecen haber suscitado una transformación en la orientación y el contenido del desarrollo de esas naciones. Han limitado su actividad a la coordinación de la investigación, manteniendo únicamente un nexo funcional con el sector productivo como en el caso de Zambia, donde la industria minera financia la investigación y la infraestructura en la Escuela de Minería de la Universidad de Zambia. Carecen de conocimientos técnicos y de experiencia para crear servicios de extensión y de asesoramiento industrial, formular planes estratégicos y presupuestos en materia de C&T y para escoger y evaluar tecnologías. Además, no tienen un programa ordinario de estudios normativos sobre C&T para la formulación de políticas destinadas a determinados sectores o plantas industriales (Tiffin y Osotimehin, 1992).

Sin embargo, África no debe seguir dependiendo excesivamente de la exportación de productos básicos. Durante el periodo 1900-1986, los precios de los alimentos básicos disminuyeron a un ritmo anual de 0,35 %, 0,54 % para los alimentos (excluidas las bebidas) y 0,82 % para los productos agrícolas no alimentarios. Durante el periodo 1950-1992, la disminución de los precios de los alimentos se aceleró en un 1,3 % al año. Las previsiones futuras indican que los precios mundiales de los productos agrícolas (Gráfico 1) seguirán disminuyendo en valores reales, aunque las futuras ganancias que permitan las nuevas tecnologías puedan cambiar parcialmente la situación (Valdes y Zietz, 1995).

En los países de la SADC, los minerales son el segundo puntal de la economía de la región; Sudáfrica ocupa, por cierto, una posición dominante en este sector. La región está creando una industria del hierro y el acero y está comenzando a fabricar productos metálicos y material rodante (Sudáfrica, Zimbabwe, Zambia y Tanzania). Queda aún por establecer en la región, así como en todo el continente africano, un programa de industrialización coherente basado en los recursos naturales. Se ha intentado hacerlo a través del Decenio para el Desarrollo Industrial de África patrocinado por la UNECA y programado por la ONUDI, que se inició en 1981 y se encuentra ahora en su segunda fase, pero hasta ahora no se ha conseguido gran



cosa con ello. El proceso de industrialización en curso en Marruecos, Egipto, Kenya, Zimbabwe y Mauricio se ha emprendido por iniciativa nacional. En el caso de Mauricio, se está llevando a cabo mediante una serie de políticas científicas y tecnológicas con objetivos muy concretos que son el resultado de una voluntad política del gobierno. Éstas comprenden: la creación de capacidad en el nivel terciario exclusivamente en los sectores que guardan una relación directa con el programa de industrialización del país; el establecimiento de zonas de producción para la exportación, con incentivos muy atractivos como la construcción de infraestructuras y la exención de impuestos; la creación de paraísos fiscales; el establecimiento de empresas conjuntas, en particular con nuevas empresas multinacionales asiáticas en determinados sectores industriales estratégicos; y el programa de diversificación deliberada de la economía para no depender exclusivamente de la exportación de productos básicos como la caña de azúcar.

TENDENCIAS FUTURAS DE LA INVESTIGACIÓN DE IMPORTANCIA PARA EL CONTINENTE

Es una cruel ironía que el continente africano, tan rico en recursos naturales biológicos y minerales, esté tan empobrecido, mientras que otros países y empresas extranjeras instaladas en África se han enriquecido con esos mismos recursos. Por consiguiente, África tiene que partir de esta realidad, adoptando un enfoque estratégico basado en la ciencia y la tecnología con miras a su futuro crecimiento económico y desarrollo social.

La conclusión de la última ronda del GATT en 1994, tras siete años de negociaciones, que condujo a la creación en 1995 del mecanismo sucesor, la Organización Mundial del Comercio, debe dar un fuerte impulso al comercio mundial. Pero es poco probable que favorezca en particular a África, ya que este continente se ha dedicado tradicionalmente a la exportación de materias primas y pro-

ductos básicos, cuyos aranceles son ya mínimos o inexistentes, en tanto que el régimen de trato preferencial instaurado por la Convención de Lomé se empezará a dismantelar durante el próximo decenio.

Para adoptar un enfoque del desarrollo inspirado en la ciencia y ser competitiva en la exportación de bienes procesados o manufacturados y de servicios basados en sus recursos naturales, África tiene que asumir una posición de producción y comercialización competitiva adoptando por lo menos cinco medidas:

- Para superar su tradicional dependencia de los productos básicos (agrícolas, silvícolas, pesqueros y mineros), el continente debe buscar cuidadosamente segmentos de mercado para productos y servicios de valor agregado y artículos no tradicionales para una producción que utilice de forma intensiva el conocimiento.
- El continente debe ampliar y mejorar su infraestructura en C&T de forma prioritaria y mantenerla a un nivel eficaz y rentable mediante los mecanismos viables de que pueda disponer, ya sea gubernamentales, privados o una combinación de ambos.
- Los gobiernos africanos deben suprimir las estructuras legislativas y procesales que ponen trabas a las inversiones nacionales, africanas y extranjeras en las economías nacionales y regionales. Sólo cuando desaparezcan por completo esas prácticas restrictivas podrán las empresas nacionales y sus ahorros buscar salidas comerciales y bancarias más formales que permitan la aparición de empresas multinacionales africanas. A este respecto, el *Standard Chartered Bank* tiene sin duda alguna la red de sucursales más amplia de África, desde su instalación en África hace unos 130 años, seguido del *Banque Nationale de Paris*, cuya amplia red de sucursales cubre el África francófona. *Ecobank*, fundado en 1990 por la Federación de Cámaras de Comercio de África Occidental, con filiales en Benin, Côte d'Ivoire, Ghana, Nigeria y Togo, se extenderá paulatinamente a toda la región de la CEDEAO (Sudarkasa, 1993). A estos bancos pioneros presentes en numerosos países se sumó recientemente el *African*

Export-Import Bank (AFREXIMBANK), patrocinado por el BAfD, con sede en El Cairo (Egipto), cuyo capital inicial es de 100 millones de dólares.

- África tiene que diversificar los lugares de destino de sus exportaciones. En la actualidad, África efectúa la mayor parte de sus negocios con sus ex metrópolis coloniales: Bélgica, Francia, Alemania, Italia, Portugal y el Reino Unido, y, por extensión, con la Unión Europea. Desde la independencia política, se ha reforzado la presencia de los Estados Unidos de América que, en 1991, adquirieron el 20 % de los productos africanos exportados, seguidos en segundo lugar por Alemania. El Japón se está perfilando como un importante destino para la exportación; pero Asia en su conjunto dista mucho de ser un importante socio comercial recíproco, al igual que América del Sur, Europa Oriental y Euro-Asia.
- África tiene que desarrollar rápidamente sus mercados de capitales que (salvo la Bolsa de Johannesburgo) son todavía muy frágiles y carecen de liquideces (Sudarkasa, 1993). Mientras que en la Bolsa de Johannesburgo cotizan unas 700 empresas y su capitalización es de más de 180.000 millones de dólares, las otras 12 bolsas existentes, en su mayoría muy recientes –las de El Cairo (Egipto), Lagos (Nigeria), Nairobi (Kenya), Bulawayo (Zimbabue) y las otras muy pequeñas de Casablanca (Marruecos), Abidjan (Côte d'Ivoire), Accra (Ghana), Port Louis (Mauricio), Gaborone (Botswana), Lusaka (Zambia), Lomé (Togo) y Kampala (Uganda)– tienen una capitalización total de apenas 6.000 millones de dólares y sólo unas 1.000 empresas cotizan en ellas. Aunque estas bolsas de valores son relativamente inactivas, la Corporación Financiera Internacional (CFI), miembro del Grupo del Banco Mundial, considera que sus resultados están entre los mejores del mundo: por ejemplo, los valores de Zimbabue se revalorizaron en un 90 % (en 1990) en dólares con respecto a su valor del año anterior (y en moneda nacional en un 163 %). No cabe duda de que los mercados de capitales africanos están listos para desempeñar un papel

importante en la movilización de los recursos financieros y, se espera, en las actividades de preinversión en I+D en sectores industriales de alta tecnología.

Una de las principales áreas en que se aplicará tal vez este enfoque integrado es el de la medicina tradicional a base de hierbas (Okogun, 1985). Con ello se reconoce que, en el mundo en desarrollo, una inmensa parte de la asistencia médica (aproximadamente un 80 %) se presta mediante la medicina a base de hierbas (WRI-UICN-PNUMA, 1992). Se reconoce, además, que las grandes empresas multinacionales extranjeras no tratan de forma adecuada las principales enfermedades tropicales, como la malaria, la leishmaniosis y la tripanosomiasis, pues consideran que el mercado africano es reducido y pobre. Se admite, por último, que no se ha explotado sistemáticamente la rica base de conocimientos tradicionales africanos y que se podría establecer una asociación orgánica entre los herederos tradicionales de estos conocimientos y los químicos modernos analíticos y sintéticos, los farmacéuticos y los médicos, como han hecho los chinos (Eisenberg y Wright, 1995). Si este programa se llegara a concretar, por ejemplo a través del proyecto de Farmacopea Africana patrocinado por la OUA/STRC o mediante la creación de una empresa de biotecnología, podría constituir un punto de partida estratégico para la industrialización moderna de África, distinta del modelo de industrialización asiática y de la revolución industrial original del siglo XIX en Europa, basadas ambas en gran medida en la industria pesada.

TERRENOS PROPICIOS PARA LA COOPERACIÓN O LA ASISTENCIA INTERNACIONAL

En julio de 1993, el Gobierno de Suiza, en cooperación con la Conferencia de las Academias Suizas, formuló una política estratégica sobre la cooperación futura entre Suiza y el mundo en desarrollo que podría tener repercusiones decisivas, en particular porque escogió a África como su principal zona de interés (Departamento Federal Suizo

de Relaciones Exteriores, 1993). Esta política estableció algunos principios básicos para la futura cooperación entre Suiza y África y propuso que se preparara un programa especial sobre asociaciones en materia de investigación entre ambas partes; que, por razones de rentabilidad y por el propio interés de Suiza, se prestara una atención deliberada a la creación de redes; que, debido a las dificultades para conseguir la financiación suficiente para los investigadores africanos que vuelven a sus países, el programa fomentara la asignación de una financiación a plazo medio para las actividades de investigación llevadas a cabo por dichos investigadores repatriados; y que se crearan estímulos para la investigación relacionada con el desarrollo. Estos elementos de un nuevo acuerdo prospectivo entre Suiza y África deben todavía someterse a prueba de forma concreta para que pueda establecerse un consenso entre ambas partes. Sin embargo, este modelo de asociación constituye ya un cambio suficientemente importante con respecto a la modalidad convencional de ayuda y asistencia técnica y merece estudiarse de forma detenida.

Con una variante de este tipo de acuerdo de colaboración a largo plazo es como podrá ser fructuosa la cooperación internacional. En primer lugar, los principales problemas de desarrollo del continente africano no forzosamente forman parte de las prioridades de los países industrializados. En segundo lugar, los problemas suelen plantearse a muy largo plazo. Y en tercer lugar, la ayuda convencional para el desarrollo ha fracasado prácticamente. Por ello, es necesario proceder a un análisis diferente para una asociación y unas empresas conjuntas más sinérgicas y orgánicas en el sector de I+D, entre países africanos, entre África y otras regiones en desarrollo, entre África y los países recién industrializados y entre África y los países más industrializados.

Los problemas para cuya solución se puede establecer este tipo de cooperación internacional, y en que se puede invertir de forma crítica capital generador para los principales terrenos prioritarios, sólo se pueden enumerar aquí de manera sucinta. Se trata de los seis terrenos siguientes:

- Las enfermedades tropicales, incluidas las causadas por los nuevos arbovirus, como el virus de Ebola y el virus onyong'-nyong', así como las principales enfermedades vectoriales como la malaria.
- La rehabilitación de las tierras tropicales, frágiles y a menudo deterioradas, que requieren una fertilización a largo plazo y de acción lenta con fósforo, a fin de prepararlas para el nitrógeno y otros fertilizantes que permiten obtener mejores cosechas y plantas forrajeras.
- La relativa escasez de agua potable en el continente —relacionada con sus prolongadas sequías periódicas cada 10 años aproximadamente y cuyo origen histórico y geológico se remonta por lo menos a unos 60.000 años atrás—, que es una de las causas de las frecuentes hambrunas en el continente, las plagas de langostas y las epidemias, así como del extenso pastoreo trashumante, exige mecanismos de gestión de los recursos hídricos innovadores y respetuosos del medio ambiente, una recolección eficaz del agua y la utilización de microorganismos acuáticos para la generación de energía hidráulica destinada a pequeños asentamientos humanos.
- El aprovechamiento más eficaz de la energía solar, fuera de las células voltaicas convencionales.
- La biotecnología relacionada con el mejoramiento de la productividad agrícola, la atención médica, la gestión ambiental y la elaboración de nuevos materiales.
- La elaboración de nuevos materiales que coadyuven a la viabilidad económica de asentamientos humanos rurales y urbanos cada vez más densos, en condiciones tropicales y semiáridas.

El obstáculo más importante para este tipo de cooperación internacional es la endeble estructura financiera de África, que limita sus posibilidades de asociación. La mayoría de los gobiernos vacilarán seguramente en contraer compromisos a largo plazo que los distraigan de sus obligaciones para con los programas nacionales de C&T en curso, o que supongan una injerencia en su soberanía como ha ocurrido tantas veces. Habrá que elaborar, por consiguiente, nuevos instrumentos, tal vez a través del sector independiente africano.

NUEVA ORIENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN MILITAR

Mientras el mundo está preocupado por la reconversión de la producción industrial y la I+D militares hacia fines civiles, África está preocupada por los ingentes problemas de la desmilitarización de sus sociedades y la desmovilización de los ejércitos de la era de las guerras civiles en casi el 40 % de los Estados africanos. Los dos únicos Estados africanos con importantes presupuestos de I+D militares son Egipto y Sudáfrica (para apuntalar el desprestigiado régimen del apartheid ahora abolido).

Tres años antes de que Sudáfrica se ajustara al molde democrático en 1994, este país desmanteló su propia reserva de armas nucleares y el programa de I+D correspondiente, justo antes de adherirse en 1991 al Tratado de No Proliferación Nuclear (Collina, 1995). No obstante, cabe señalar que la empresa estatal de armamentos, Denel, está buscando en todo el mundo nuevos socios para participar en el diseño, la concepción y la fabricación de productos aeroespaciales de calidad para la exportación, en especial para el mejoramiento de helicópteros de ataque y armamentos similares. De hecho, según declaraciones recientes, Sudáfrica, a través de Armscor, está buscando la manera de triplicar sus exportaciones de armas (Cock, 1994). Para ello, está pidiendo que se levante el embargo de las Naciones Unidas sobre el comercio de armas en Sudáfrica y pasar a ser miembro del Régimen de Control Tecnológico de Misiles.

CONCLUSIÓN

Un vistazo al estado de la ciencia y la tecnología en África deja la clara impresión de que, a pesar de los disturbios civiles y la crisis económica en que está sumida África, el continente está tomando numerosas iniciativas para aprovechar las posibilidades que ofrecen la ciencia y la tecnología, salir de la desesperanza y reencontrar el camino del desarrollo. Será muy interesante observar que es lo que se consigue con este esfuerzo conforme nos acercamos al inicio del siglo XXI.

Thomas R. Odhiambo es en la actualidad Director del Foro de Investigación y Desarrollo para el Desarrollo de África impulsado por la Ciencia (RANDFORUM) y Presidente de la Academia Africana de Ciencias. Biólogo experimental con intereses particulares en la endocrinología de los insectos y la biología para el desarrollo, fue primer profesor de Entomología en la Universidad de Nairobi en 1970. Fue el creador y primer director del prestigioso Centro Internacional de Fisiología y Ecología de los Insectos (ICIPE) en Nairobi, puesto que ocupó hasta 1994.

En su larga y distinguida carrera, el profesor Odhiambo ha cosechado muchas becas y honores, entre ellos la Medalla de Oro Albert Einstein que la UNESCO le concedió en 1991. Ha escrito mucho sobre investigación científica y sus publicaciones van desde antologías sobre ciencia para niños hasta monografías sobre desarrollo y políticas científicas en África.

BIBLIOGRAFÍA

- Aju, A. (1994). *Industrialisation and Technological Innovation in an African Economy*, Akoka, Nigeria: Regional Centre for Technology Management.
- Asociación de Universidades Africanas (1995). *The University in Africa in the 1990's and Beyond*, Informe resumido de un coloquio celebrado en la Universidad Nacional de Lesotho, 16-20 de enero de 1995, manuscrito, Accra: Asociación de Universidades Africanas.
- Banco Africano de Desarrollo (1993). *African Development Fund: 20 Years of Contribution to Development in Africa*, Abidján, Banco Africano de Desarrollo.
- Bhagavan, M. R. (1989). *Ethiopia: Development of Scientific and Technological Research* y SAREC's Support 1979-1988, Estocolmo: SAREC (SAREC Documentation, Research Surveys).
- Cock, J. (1994). «We must break our militarized past if we are to prosper», en *Business Day*, 18 de mayo de 1994, p. 6.
- Collina, T. Z. (1995). «South Africa bridges the gap», en *Bulletin of Atomic Scientists*, 51 (4): 30-31.

Departamento Suizo de Relaciones Exteriores (1993). *Swiss Strategy for the Promotion of Research in Developing Countries*, Berna: Academia de Ciencias de Suiza.

Eisenberg, D., y Wright, T. L. (1995). *Encounters with Qi: Exploring Chinese Medicine*, Londres: W. W. Norton and Company.

Ellis, G. F. R. (1994). *Science Research Policy in South Africa: A Discussion Document*, Ciudad del Cabo: Royal Society of South Africa.

Instituto de los Recursos Mundiales, Unión Mundial para la Conservación de la Naturaleza y sus Recursos y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (1992). *Global Biodiversity Strategy: Guidelines for Action to Save, Study, and Use Earth's Biotic Wealth Sustainably*, Washington, D.C.: Instituto de los Recursos Mundiales.

International Development Research Centre (1993) *Towards a Science and Technology Policy for a Democratic South Africa*, Johannesburg: IDRC Regional Office for Southern Africa.

Maduemezia, A., Okonkwo, S. N. C. y Okon, E. E., comp. (1995). *Science Today in Nigeria*, Lagos, Academia de Ciencias de Nigeria.

Odhiambo, T. R. (1983). «The natural history of academies of sciences in Africa», en *Memorie di Science Fisiche e Naturali*, Serie V, 7(2): 99-100.

Ojwang', J. B. (1989). «A regime for protecting inventions and innovations», en C. Juma y J. B. Ojwang' (dir. publ.), *Innovation and Sovereignty*, págs. 29-55, Nairobi, African Centre for Technology Studies.

Okogun, J. I. (1985). *Drug Production Efforts in Nigeria: Medicinal Chemistry Research and a Missing Link*, Academia de Ciencias de Nigeria: Lecture, págs. 29-52.

Programas Científicos Internacionales (1995). Conferencia Internacional sobre apoyo de los donantes a la investigación en ciencias básicas orientadas hacia el desarrollo (Uppsala, Suecia, 15-16 de junio de 1995): *Declaration and Recommendations for Action*, Uppsala: Universidad de Uppsala.

Sudarkasa, M. E. M. (1993). *The African Business Handbook: A Practical Guide to Business Resources for U.S./Africa Trade and Investment*, Washington, D.C.: 21st Century Africa, Inc.

Tiffin, S., y Osotimehim, F. (1992). *New Technologies and Enterprise Development in Africa*, París: Centro de Desarrollo, Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos.

Valdes, A., y Zietz, J. (1995). «Distorsions in world food markets in the wake of GATT: Evidence and policy implications», en *World Development* 23 (6): 913-926.

Asia Meridional

A. R. RAJESWARI

INDIA

El pensamiento científico y las ideas innovadoras en materia de tecnología han formado parte esencial de la cultura de la India y han cimentado su civilización a través de la historia. No obstante, sólo la independencia del país, la visión de futuro de sus dirigentes, y su apoyo incondicional a la ciencia y tecnología (C&T) permitieron el desarrollo planificado de ésta como motor principal de la evolución socioeconómica. Jawaharlal Nehru, primer jefe del Gobierno de la India, resumió esta visión con las siguientes palabras: «Sólo la ciencia puede resolver el problema del hambre y la pobreza. El futuro pertenece a la ciencia y a los que se familiaricen con ella».

El sistema de C&T

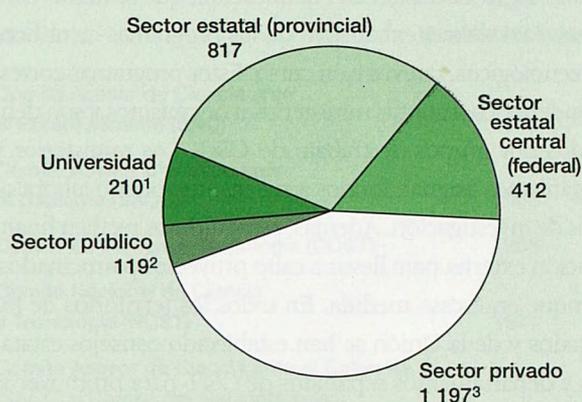
En la India, las actividades de ciencia y tecnología son llevadas a cabo por toda una serie de instituciones y laboratorios que, en líneas generales, podemos clasificar en función de su pertenencia a los siguientes sectores:

- Gobierno central (federal).
- Gobiernos estatales (provinciales).
- Educación Superior.
- Empresas del sector público y del sector mixto bajo control administrativo del Gobierno central o de los gobiernos estatales.
- Empresas del sector privado.
- Instituciones y asociaciones privadas con fines no lucrativos.

En total, hay 2.750 instituciones indias que realizan actividades de investigación y desarrollo (I+D) y su distribución por sectores se muestra en el Gráfico 1. La importancia del esfuerzo desplegado por los diferentes sectores en materia de C&T es variable y depende de la cuantía de los recursos que se le consagran y del tipo de actividades llevadas a cabo.

Además de estas instituciones, el país cuenta con varios centros importantes de redes, sistemas, información y documentación, como el Consejo para la Previsión y Evaluación de la Información Tecnológica (TIFAC), el Centro Nacional de Informática (NIC) y el Sistema Nacional de

GRÁFICO 1
INSTITUCIONES INDIAS DE I+D, POR SECTORES



1. Comprende centros de enseñanza considerados como universidades, institutos de importancia nacional y universidades agronómicas, pero excluye 7.513 centros de enseñanza superior de menor importancia.
2. Comprende solamente las unidades internas de I+D de las empresas del sector público central.
3. Comprende las unidades internas de I+D de las empresas del sector, así como las organizaciones de investigación científica y técnica reconocidas por el Departamento de Investigación Científica e Industrial (DSIR).

Fuente: *Directory of R&D Institutions, 1994*, Ministerio de Ciencia y Tecnología, Nueva Delhi.

Información para C&T (NISAT), que proporcionan información sobre la C&T y diversos servicios afines.

Planificación de la C&T

La Comisión de Planificación asume la responsabilidad de integrar la C&T en la planificación socioeconómica nacional. El planteamiento y la orientación general de la planificación de la C&T se han ido centrando y afinando a lo largo de los sucesivos planes quinquenales, que han culminado con el Octavo Plan (1992-1997).

Financiación de la C&T

Los ministerios del Gobierno central (federal), en general, y los principales departamentos u organismos científicos, más concretamente, constituyen la vanguardia principal

del esfuerzo nacional de investigación realizado en la India. La financiación del sector de C&T se efectúa mediante asignaciones presupuestarias conformes a las recomendaciones de la Comisión de Planificación, que se fundamentan en un debate exhaustivo de los programas científicos y tecnológicos, nuevos o en curso. Estos programas corresponden a los distintos ministerios u organismos y son definidos por grupos de trabajo de C&T. Los ministerios y organismos asignan fondos a sus instituciones o laboratorios de investigación. Además, estos últimos reciben financiación externa para llevar a cabo proyectos patrocinados, aunque en escasa medida. En todos los territorios de los estados y de la Unión se han establecido consejos estatales y departamentos separados de C&T para promover la ciencia. La Comisión Central de Planificación decide las inversiones a efectuar, en el marco del plan, en el sector estatal de C&T, tras debatir exhaustivamente con los departamentos y consejos estatales los programas que éstos proponen. Además, los gobiernos de los estados proporcionan fondos a las instituciones de investigación dependientes de sus respectivos departamentos para actividades de C&T en la agricultura, el desarrollo rural, la energía, etc. La inversión total efectuada por los gobiernos de los estados, en el marco del plan, comprende los recursos propios del estado y una ayuda del Gobierno central.

La financiación de la C&T en el sector de las empresas públicas proviene de fuentes propias de éstas y de los ministerios y departamentos administrativos del Gobierno central (federal).

El sector de la empresa privada financia sus propias actividades de I+D y patrocina también instituciones de investigación con fines no lucrativos.

En la India, el sector de la educación superior recibe financiación externa e interna para sus actividades de C&T. La financiación externa procede, en mayor o menor medida, de los departamentos y organismos de C&T del Gobierno central, mientras que la externa es proporcionada por la Comisión de Subvenciones para las Universidades (UGC), organismo dependiente del Departamento de Educación del Ministerio de Desarrollo de los Recursos Humanos. La financiación externa es de escasa cuan-

tía y representa solamente el 2 % del gasto total nacional en I+D.

La financiación externa va a parar principalmente al sector de la educación superior y, en menor medida, a los laboratorios nacionales; se destina al patrocinio de proyectos de investigación aprobados por comités altamente calificados. Las empresas apenas financian alguna investigación en el sector de la educación superior. Debido a la escasa afluencia de fondos destinados a la I+D en los diferentes sectores, en la India no ha variado apenas el porcentaje sectorial del gasto en I+D por fuente de financiación y por sector de realización.

La asignación presupuestaria es quinquenal, se controla anualmente y comprende elementos pertenecientes al plan y ajenos a éste. La parte de la asignación correspondiente al plan está destinada invariablemente a actividades nuevas que revisten la modalidad de proyectos, mientras que la parte ajena al plan comprende los salarios, el mantenimiento y otros gastos corrientes.

Política de C&T

La convicción de la importancia que la C&T tiene en sí misma y como instrumento del desarrollo nacional quedó reflejada en la formulación de la Resolución sobre la Política Científica (SPR) de marzo de 1958. Sus objetivos eran, entre otros: fomentar, promover y apoyar la investigación científica; proporcionar una cantidad adecuada de científicos de excelente calidad, reconocer su trabajo y recomendarlo; y, en general, garantizar que la población de la India disfrutase de todas las ventajas que acarrear la adquisición y aplicación del conocimiento científico.

El Gobierno, tras haberse percatado de la importancia de la opción tecnológica en el contexto de los factores económicos, sociales y culturales, adoptó la Declaración de Política Tecnológica (TPS) de enero de 1983 para responder a las necesidades mencionadas. Los objetivos de la Declaración eran, entre otros: lograr la autosuficiencia tecnológica; utilizar al máximo los recursos del país; proporcionar empleos altamente retribuidos; desarrollar tecnologías competitivas en el plano internacional; y reducir la demanda de energía. La política tecnológica es objeto de

revisión en función de la evolución de la situación económica e industrial. En 1986, la India adoptó una nueva política de educación tras haber revisado la precedente, que databa de 1968. Sus objetivos son: mejorar el sistema de educación y satisfacer las necesidades de la sociedad en consonancia con el desarrollo tecnológico; planear de nuevo los cursos y programas de educación superior para satisfacer mejor las demandas de especialización; reforzar el apoyo a la investigación universitaria y garantizar su alta calidad; y, por último, desarrollar la investigación interdisciplinaria. Además, el Gobierno ha adoptado políticas específicas en materia de industria, comercio, equipos y programas informáticos, e información, que de una manera u otra están vinculadas con la política de C&T ya mencionada.

Órganos de asesoramiento en C&T

Desde la independencia, se ha creado un cierto número de comités altamente calificados u órganos de asesoramiento para orientar y aconsejar al Gobierno sobre asuntos relacionados con la C&T, por ejemplo, la coordinación de la investigación, la cooperación internacional y la investigación civil y militar, a fin de planificar el desarrollo científico y controlar la aplicación de la política de C&T para el desarrollo nacional. Una lista de estos comités y órganos figura en el Cuadro 1. Sus miembros son responsables de decisiones políticas, administradores y planificadores de gran experiencia, así como destacadas personalidades representativas de ámbitos interdisciplinarios de C&T.

Además de estos comités, se han establecido comités asesores de C&T en diferentes ministerios económicos y sociales centrales, así como consejos de C&T en los estados para definir planes, programas y tecnologías pertinentes en materia de C&T.

Educación superior y recursos humanos en C&T

Desde los albores de la independencia, se convino en que la existencia de una mano de obra con formación profesional era la condición imprescindible para llevar a cabo actividades de C&T en pos del desarrollo económico y

**CUADRO 1
COMITÉS SUPERIORES DE C&T EN LA INDIA**

	Año de establecimiento
Comité Asesor de Ciencia ante el Primer Ministro (SAC)	1948
Comité Asesor Científico ante el Gabinete (SACC)	1956
Comité de Ciencia y Tecnología (COST)	1968
Comité Nacional de Ciencia y Tecnología (NCST)	1971
Comité Asesor de Ciencia ante el Gabinete (SACC) y Comité del Gabinete sobre Ciencia y Tecnología (COST)	1981
Consejo Asesor de Ciencia ante el Primer Ministro (SAC to PM)	1986
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (NCST)	1990

social. Posteriormente, diversos comités y comisiones de educación establecidos por el Gobierno orientaron el fomento de la educación universitaria. El resultado de su labor fue un aumento espectacular del número de universidades y centros de enseñanza técnica superior en la India. Hoy en día, el país cuenta con 210 universidades y más de 7.500 centros de enseñanza superior, de los cuales 6.500 imparten formación general en ciencias y letras, 500 en ingeniería, 450 en medicina y 150 en agronomía. Además, existen 900 instituciones politécnicas reconocidas, 300 escuelas de enfermeras, un cierto número de institutos de formación industrial y de sociedades de formación profesional, así como diversos programas de formación y educación no formal que constituyen una cantera de personal con competencias técnicas de nivel medio.

La expansión de la infraestructura educativa de C&T ha dado como resultado, a lo largo de los años, un crecimiento continuo de los recursos humanos disponibles en el país. El número de personas matriculadas en disciplinas de C&T

ha alcanzado recientemente la cifra de 1.400.000, como puede verse en el Cuadro 2. El promedio anual de nuevos titulados en C&T es del orden de 200.000 y se estima que el total de los recursos humanos con una capacitación en C&T supera los 4 millones.

Se han producido problemas con la expansión de la educación superior y de la mano de obra calificada en C&T. No se utiliza plenamente el potencial de esta última para incrementar la productividad y la eficacia organizativas, ni tampoco para el desarrollo económico del país. Además, se dan los fenómenos de desempleo, subempleo y distribución inadecuada de los puestos de trabajo, junto con el de la existencia de una cantidad significativa de personas no productivas. Constituye un motivo de preocupación el éxodo de científicos y técnicos excelentes hacia los países occidentales y el Oriente Medio, en búsqueda de mejores oportunidades de trabajo.

Es un hecho comprobado que la interacción y coordinación entre el sistema de C&T y el sector de la producción son bastante tenuous en la India. Esto ha desembocado en una utilización insuficiente de la investigación científica realizada en universidades, laboratorios nacionales,

empresas y otras entidades. También está comprobado que la calidad de la educación superior no es la misma en todas las instituciones a causa del descenso de nivel de las normas y de la existencia de instalaciones inadecuadas.

Actualmente se están formulando propuestas para renovar el sistema de educación científica y técnica del país, a fin de satisfacer las necesidades de las empresas y de la economía y de poder afrontar los retos del siglo XXI. Está previsto crear un sistema interuniversitario de comunicaciones electrónicas, para que las instituciones docentes y los laboratorios nacionales puedan ponerse en contacto entre sí y con la comunidad científica internacional; se están instalando por doquier fax, equipos de correo electrónico y bases de datos. El Consejo Panindio para la Educación Técnica (AICTE) ha asumido la responsabilidad reglamentaria de garantizar un alto nivel de las normas en las instituciones docentes de ingeniería y tecnología, así como la de reconocer a estos centros de enseñanza. Dentro de la misma perspectiva, se ha establecido el Consejo Nacional de Evaluación y Reconocimiento (NAAC), cuyos objetivos son: clasificar las instituciones de enseñanza superior y sus programas; mejorar las condiciones académicas y la calidad de la enseñanza y la investigación; promover innovaciones y reformas; y fomentar la autoevaluación y la responsabilidad. Entre las competencias del Consejo figuran: el planeamiento y revisión de currículos; la modernización de los cursos en las disciplinas nacientes; el fomento de nuevas técnicas de enseñanza y evaluación; y la transformación de los servicios de apoyo. La nueva política nacional, con la liberalización y mundialización que supone en el plano económico, ha dado una nueva dimensión a las ideas acerca de las empresas. Esto tendrá como consecuencia la aparición de nuevos retos y un mayor contacto de estudiantes y profesores con el mundo empresarial. Ya se están dejando sentir claramente algunos efectos de todo ello.

Recursos de I+D

El Sistema Nacional de Administración e Información Científicas y Tecnológicas (NSTMIS) del Departamento de Ciencia y Tecnología (DST) efectúa cada dos años una

CUADRO 2
PERSONAS MATRICULADAS EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR CIENTÍFICA Y TÉCNICA EN LA INDIA, 1992-1993

Disciplinas	Hombres	Mujeres	Total
Total en Ciencia	790 400	377 200	1 167 600
Ciencias Biológicas	624 000	318 600	942 600
Medicina	109 700	53 800	163 500
Agronomía	56 700	4 800	61 500
Total en Ingeniería/ Tecnología	214 900	19 200	234 100
Total en Ciencia e Ingeniería/Tecnología	1 005 300	396 400	1 401 700

Fuente: Comisión de Subvenciones para las Universidades (últimos datos disponibles).

encuesta a nivel nacional sobre los recursos consagrados a las actividades de C&T, y desde 1973 se han venido publicando informes exhaustivos sobre este particular. Los organismos nacionales e internacionales utilizan estos informes como material documental sobre publicaciones y referencias. Se han publicado los relativos a 1992-1993 y están en curso los correspondientes a 1994-1995.

Los datos referentes al gasto y los recursos humanos en I+D, por sectores, figuran en el Cuadro 3. En el Cuadro 4 se muestra la distribución del gasto nacional en I+D, en función de los objetivos definidos por la UNESCO. El crecimiento del gasto en I+D de los diferentes sectores, entre 1985 y 1994, puede contemplarse en el Gráfico 2. En el Gráfico 3 figura el porcentaje del gasto nacional en I+D por sectores durante el periodo 1992-1993.

Realizaciones

La India se halla entre las contadas naciones en desarrollo que han logrado ser autosuficientes en materia de producción de alimentos, y el país se encamina a grandes pasos hacia la satisfacción de las necesidades básicas de asistencia médica y vivienda de una gran mayoría de su población. En las esferas de las tecnologías avanzadas y de la investigación espacial, la India ha conseguido enviar con éxito al espacio un lanzador de satélites polares y colocar en órbita el satélite IRS-P2, uniéndose así al reducido grupo de países capaces de poner satélites de 1.000 kg en órbita polar sincrónica con el sol. La India puede actualmente proyectar, construir y lanzar sus propios satélites. Otro logro importante ha sido la creación de superordenadores de fabricación nacional, por ejemplo, el PARAM

CUADRO 3
GASTO Y RECURSOS HUMANOS EN I+D, POR SECTORES

Sector	Gasto en I+D (en millones de rupias)		Recursos humanos en I+D al 1 de abril de 1992			
	1992-1993	1993-1994 ¹	Científicos e ingenieros ²	Personal auxiliar ²	Personal administrativo ²	Total ²
Total nacional	51 416	57 334	95 486 (9)	98 202 (7)	99 660 (13)	293 348 (10)
Total Gobierno central	38 911	42 724	53 389 (9)	70 028 (7)	59 634 (14)	183 051 (10)
Instituciones	33 044	36 012	39 263 (10)	64 433 (7)	56 973 (14)	160 669 (10)
Empresas del sector público	5 867	6 712	14 126 (6)	5 595 (7)	2 661 (11)	22 382 (7)
Gobiernos de los estados	4 788	5 611	19 041 (9)	17 549 (6)	31 265 (10)	67 855 (8)
Total del sector privado	7 717	8 999	23 056 (9)	10 625 (12)	8 761 (18)	42 442 (11)
Empresas del sector privado	6 871	8 011	20 130 (6)	8 320 (4)	4 811 (11)	33 261 (6)
Institutos de investigación privados no lucrativos	846	988	2 926 (25)	2 305 (39)	3 950 (25)	9 181 (29)

1. Estimación.

2. Las cifras entre paréntesis representan el porcentaje de mujeres en cada sector.

Fuente: *Research and Development Statistics 1992-1993*, Departamento de Ciencia y Tecnología (DST), Nueva Delhi.

9.000 con una capacidad de 2,5 gigaflop, que se produce en varias versiones. Por otra parte, los científicos indios han sido capaces de cristalizar el Azadiractin-A, uno de los mejores productos naturales conocidos del árbol denominado «nim» –*Azadiracta indica*–, que posee asombrosas cualidades como la de inhibir la alimentación de 200 espe-

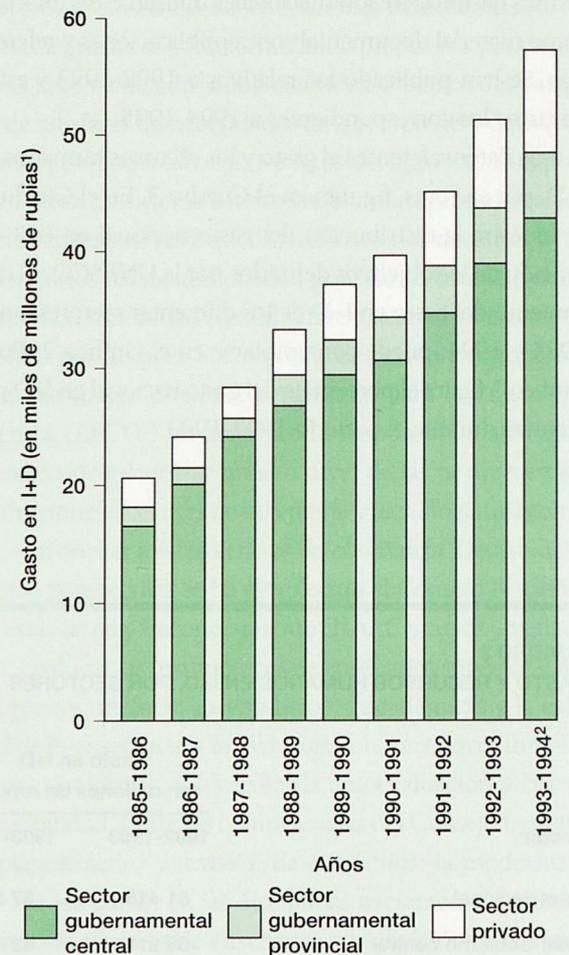
CUADRO 4
GASTO NACIONAL EN I+D POR OBJETIVOS (1992-1993)

Objetivo	Porcentaje
Defensa	19,2
Desarrollo agrícola, forestal y pesquero	17,6
Promoción del desarrollo industrial	16,4
Espacio	9,6
Producción, conservación y distribución de energía	7,9
Desarrollo de transportes y comunicaciones	6,7
Desarrollo de los servicios de sanidad	5,5
Avances generales de la ciencia	5,4
Protección del medio ambiente	4,6
Otros	7,1
Total (51.400 millones de rupias)	100,0

Fuente: *Research and Development Statistics 1992-1993*, Departamento de Ciencia y Tecnología (DST), Nueva Delhi.

cies de insectos. Por primera vez, la India ha solicitado la concesión de una patente para un gen producido en laboratorio a partir de la simiente del amaranto, un pseudoce-real de rico contenido proteico; este gen puede introducirse en otros cereales y producir un aumento de su contenido en proteínas. Se han desarrollado y comercializado –en el extranjero, en muchos casos– numerosas tec-nologías en muy diversos campos, de los que tan sólo cita-remos los siguientes: petroquímica, productos químicos para la agricultura, catalizadores industriales, tratamiento de alimentos, medicamentos y productos farmacéuticos, equipos y materiales de ingeniería, y materiales de cons-trucción.

GRÁFICO 2
CRECIMIENTO DEL GASTO NACIONAL EN I+D



1. 1 dólar de los EE. UU. = 26 rupias (valor en 1992)
2. Estimación.

Fuente: *Research and Development Statistics 1992-1993*, Departamento de Ciencia y Tecnología (DST), Nueva Delhi.

Cooperación internacional y regional

La cooperación presente y futura con los países desarro-llados puede conducir a una preparación técnica autóctona en muchas tecnologías avanzadas, por ejemplo, en la elec-trónica, la síntesis de materiales, los instrumentos de pre-cisión, la ingeniería biológica, la gasificación del carbón y

los carburantes alternativos. La colaboración entre los países de Asia Meridional sería beneficiosa en campos como éstos: sondeo de aguas subterráneas, tratamiento de alimentos, energía no tradicional (o renovable), plantas medicinales, materiales baratos para la construcción de viviendas, industrias del cuero, pesticidas, informática y documentación.

AFGANISTÁN

Este país, denominado con frecuencia la encrucijada de Asia, ha tenido una historia turbulenta y ha sido víctima de numerosas invasiones. Se puede considerar que es uno de los países del mundo en el que menor efecto han causado los adelantos de la C&T. Su territorio cuenta con una amplia gama de minerales y grandes yacimientos de gas natural. La educación superior es el eslabón más débil del sistema educativo; la mayoría de las instituciones de edu-

cación superior establecidas por otros países no resultan adaptadas a las necesidades socioeconómicas de la población. La creación de condiciones idóneas para el desarrollo de la C&T va a verse dificultada por estos factores: planeamiento educativo inadecuado, escasez del personal dedicado a la C&T, gran dependencia de los expertos extranjeros, falta de oportunidades para el personal altamente calificado en C&T y carencias políticas. El país es víctima de la falta de equipos básicos para la modernización y, por consiguiente, la cooperación bilateral, regional e internacional, se limitan en gran medida a la adquisición de éstos. Otro importante factor de mantenimiento del subdesarrollo de la C&T en este país lo han constituido los periodos de inestabilidad política interna, que se han sucedido con gran rapidez. En la actualidad, el país necesita abundantísimos recursos humanos para respaldar su programa básico de tecnología.

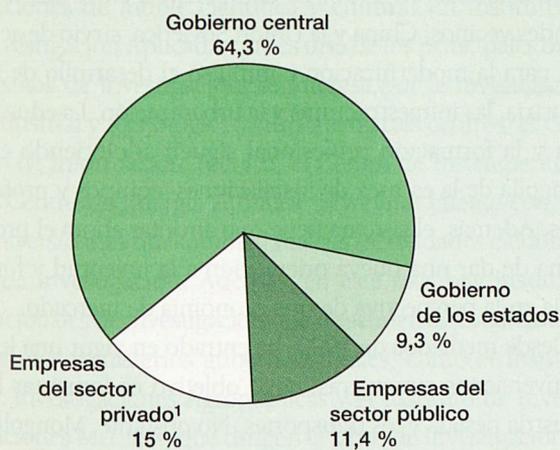
La Comisión Nacional de C&T (NSTC), establecida en 1979 y compuesta por miembros de diferentes ministerios, es el órgano responsable de la adopción de decisiones políticas en materia de C&T, de los métodos de coordinación y difusión de ésta, y de la selección y transferencia de la tecnología adecuada. Los organismos más importantes de respaldo o de realización de la investigación científica y técnica son la Academia de Ciencias de Afganistán, el Ministerio de Educación Superior, el Ministerio de Agricultura y el Ministerio de Minas. Éstos cuentan con el apoyo de diversos departamentos, centros e institutos de C&T, dedicados a distintas disciplinas. No se dispone de estadísticas relativas a la C&T en Afganistán, pero se sabe las actividades de I+D son escasas.

BANGLADESH

En Bangladesh se está produciendo un proceso de reconocimiento formal de la función de la C&T en el esfuerzo en pro del desarrollo.

Bangladesh dio a conocer su primera Política Nacional de Ciencia y Tecnología en 1983, pero no pudo aplicarse por falta de apoyo suficiente. Esta circunstancia indujo al Gobierno a proclamar una segunda Política en 1986 y a

GRÁFICO 3
GASTO NACIONAL EN I+D (1992-1993)



1. Las empresas del sector privado comprenden los institutos de investigación no lucrativos.

2. 1 dólar de los EE. UU. = 26 rupias (valor en 1992)

Fuente: Departamento de Ciencia y Tecnología (DST), Nueva Delhi.

crear un Comité Nacional para la Ciencia y Tecnología (NCST), presidido por el primer ministro, cuyas atribuciones eran: efectuar recomendaciones sobre la política nacional y las prioridades en materia de C&T; aprobar los planes y programas de investigación; y proponer medidas para la coordinación de las actividades de I+D y otros asuntos conexos. Existe también en este país un Comité Ejecutivo de la NCST (ECNCST), encabezado por el ministro encargado del Ministerio de Ciencia y Tecnología (MOST), que supervisa la aplicación de las directrices y decisiones de la NCST.

En Bangladesh no existen instituciones de investigación privadas en las empresas. Entre los organismos de investigación figuran: la Comisión de Energía Atómica de Bangladesh (BAEC) y el Consejo de Investigación Científica e Industrial de Bangladesh (BCSIR), así como universidades, laboratorios de análisis e investigación, centros hospitalarios de investigación médica y entidades de servicios de apoyo a la ciencia dependientes de doce ministerios.

Las actividades de investigación en las universidades son muy limitadas. El 95 % de las personas que poseen un doctorado en ciencias o en ingeniería han sido formadas en el extranjero. Las personas que han obtenido el grado de doctor en el país son pocas, aunque las universidades alegan haber creado programas de doctorado. Bangladesh dista mucho de poseer la capacidad para lograr una auténtica competencia independiente en materia de C&T. La exigua financiación de la investigación, las instalaciones de laboratorios inadecuadas, los escasos vínculos con la industria, así como la falta de estudios sobre los resultados de la investigación de las instalaciones experimentales, son factores que han contribuido al bajo nivel de la I+D en este país.

BHUTÁN

Son recientes los esfuerzos desplegados por Bhután para desarrollar una economía moderna. El interés de este país por la ecología es ejemplar y su resultado ha sido que el medio ambiente se conserva ampliamente intacto. No obstante, se están intensificando actualmente las presiones ejercidas por el crecimiento de la población y el incre-

mento de los rebaños de ganado, lo cual hace que se cierna una amenaza de graves daños sobre el medio ambiente. Los objetivos estratégicos generales del país en materia económica consisten en desarrollar rápidamente la industria, las minas y la energía, basándose en su gran potencial hidroeléctrico y sus recursos minerales y forestales. A pesar de los objetivos del Sexto Plan relativos a la autosuficiencia, el desarrollo de los recursos humanos, etc., el país tiene que afrontar una gravísima escasez de personal especializado y técnico, una falta de infraestructuras institucionales y una penuria de personal docente capacitado. Bhután depende los expertos extranjeros y expatriados; si se exceptúan una o dos instituciones de investigación en el campo de la agricultura, apenas existe infraestructura de C&T; tampoco posee una política de C&T ni un organismo que la elabore. No existe un sistema fiable de recopilación de datos y, por consiguiente, la base de información estadística en materia de C&T es muy endeble.

MONGOLIA

En 1962, Mongolia llegó a ser miembro de pleno derecho del COMECON y permaneció en esta organización hasta su desaparición en 1990. La competencia entre sus dos grandes vecinos, China y la Unión Soviética, sirvió de acicate para la modernización e impulsó el desarrollo de la industria, las infraestructuras y la urbanización. La educación y la formación profesional siguen adoleciendo en Mongolia de la escasez de instalaciones, equipos y profesores. Además, el sistema tiene que afrontar ahora el problema de dar una nueva orientación a la juventud y formarla en la perspectiva de una economía de mercado.

Desde mediados de 1993, ha entrado en vigor una ley de inversiones extranjeras, cuyo objetivo es fomentar la industria pesada y los transportes. No obstante, Mongolia sigue siendo muy dependiente de las importaciones en casi todos los sectores industriales. Los ingenieros mongoles han venido desempeñando, por regla general, un papel secundario en sus establecimientos y los técnicos han tenido escasas posibilidades de adquirir las competencias necesarias. El Gobierno ha aprobado un programa

de modernización tecnológica, en el que se reconoce la necesidad de dar una orientación completamente nueva al sistema de formación técnica y profesional, a fin de satisfacer las nuevas necesidades; por su parte, los ministerios de Trabajo y Educación están elaborando nuevos programas de capacitación.

MYANMAR

Según la información hecha pública en 1976, Myanmar posee un Consejo Directivo de la Política de Investigación, compuesto por un comité de ministros y establecido desde 1965, que se encarga de la planificación general y coordinación de las actividades de C&T. Aunque este Consejo no efectúa una labor operativa por sí mismo, se hace asistido por un organismo asesor y por un Comité Coordinador de Investigación y Desarrollo, compuesto por expertos en ciencia, ingeniería y ciencias humanas. Por otra información dada a conocer en 1986, se sabe que Myanmar ha establecido una Comisión Estatal de C&T, que es responsable de la política científica y tecnológica del país. Por su parte, la Sociedad de Investigación de Myanmar, fundada en 1910, lleva a cabo la promoción de estudios e investigaciones de índole científica y cultural. El Instituto de Investigación Aplicada, que es uno de los principales organismos de investigación, se interesa por la investigación industrial y tecnológica y dispone de tres centros: el Centro de Información Técnica, el Centro de Instrumentos y el Centro de Energía Atómica. Myanmar cuenta con tres universidades que también realizan actividades científicas y de investigación. Además, en este país hay institutos nacionales de investigación que dependen directamente de algunos ministerios gubernamentales, como el Instituto de Investigaciones Agronómicas y el Instituto de Investigaciones Médicas, que dirigen la labor de investigación en sus ámbitos respectivos.

NEPAL

En 1965 se inició en Nepal la enseñanza científica para posgraduados, tras la creación de la primera universidad

en 1959. En 1971 se estableció un nuevo sistema de educación. Entre 1960 y 1973 se crearon laboratorios e institutos de investigación, entre los que se cuenta el importante Centro de Investigación para Ciencia y Tecnología Aplicada (RECAST) de la Universidad de Tribhuvan. En 1976, el país se dotó de un Consejo para la Ciencia y Tecnología de carácter nacional y, en 1982, se fundó la Real Academia Nepali de Ciencia y Tecnología (RONAST). Esta última asume la autoridad en materia de C&T en el plano nacional y, entre sus funciones y tareas, figuran: la formulación y aplicación de la política y los programas de C&T; la coordinación y dirección de la investigación; el establecimiento de laboratorios nacionales; el desarrollo de un sistema de información de C&T; y la divulgación de la C&T.

El gasto de Nepal en I+D representa alrededor de un 0,13 % del Producto Interior Bruto (PIB) y es uno de los más bajos de la región de Asia Meridional. En 1984-1985, el total de la asignación presupuestaria para actividades de I+D ascendió a una cantidad de 2.340 millones de rupias, en la que estaban comprendidas todas las ayudas a la investigación de índole pública y privada, así como las de procedencia extranjera. En 1990, los recursos humanos de C&T totalizaban 34.000 personas, de las cuales la mitad eran ingenieros.

PAKISTÁN

En los últimos años, se ha tomado conciencia en Pakistán de la trascendencia que reviste la C&T y tanto los responsables de las decisiones políticas como los planificadores le han concedido la importancia que merece. El Ministerio de Ciencia y Tecnología (MOST), que es el organismo central del Gobierno federal para el desarrollo de la C&T, formuló una Política Nacional de Ciencia y Tecnología, que fue adoptada en marzo de 1984. En 1985, se aprobó un Plan de Acción para la C&T, a fin de aplicar esta política, cuyos objetivos son: sentar sólidas bases para potenciar un sistema eficaz de C&T, que reduzca la dependencia de las tecnologías importadas, y para garantizar que el conjunto de la actividad

científica y tecnológica se encamine a la realización de los objetivos nacionales. El mencionado organismo se encarga de la organización y estructuración de las actividades de C&T, la investigación en las universidades, el desarrollo de la tecnología, los recursos humanos científicos y técnicos, la promoción social de la C&T, las relaciones internacionales y la financiación de los programas de C&T.

Pakistán ha preparado su Segundo Plan de Perspectivas (1988-2003), dentro del contexto de los recientes acontecimientos nacionales e internacionales, de las innovaciones tecnológicas y de la rápida expansión de los sistemas de información. El Séptimo Plan Quinquenal (1988-1993) había hecho hincapié en la consolidación de las instituciones de I+D ya existentes, a fin de responder adecuadamente a las exigencias del desarrollo nacional mediante la integración de la C&T en los planes de desarrollo, la ampliación de los programas de fomento de los recursos humanos y otras medidas.

El principal obstáculo con que tropieza Pakistán para utilizar los adelantos de la C&T en el proceso de desarrollo no estriba en la falta de financiación, equipamientos y sistemas adecuados. El problema reside en que la cantidad de personal calificado y capacitado en las universidades e instituciones de I+D, así como en los sectores industrial y agrario, se sitúa por debajo del umbral crítico. Por ello, en 1985 el MOST impulsó un Programa de Desarrollo de Recursos Humanos para formar científicos y técnicos de alto nivel en las nascentes tecnologías, con miras a mejorar el potencial nacional de C&T y a obtener una cantidad suficiente de personal con alta calificación profesional. Para fomentar la investigación en las universidades, se ha propuesto reactivar en todas ellas el funcionamiento de un Consejo de Estudios e Investigación Adelantados (BASR) y desarrollar las bibliotecas, la documentación y las instalaciones de laboratorios, la formación avanzada, el establecimiento de fondos específicos para I+D, etc.

El Séptimo Plan Quinquenal asignó 7.040 millones de rupias para el desarrollo de la C&T (en el Sexto Plan la cantidad destinada a tal fin ascendió a 5.800 millones de

rupias), que se distribuyeron tal y como se especifica en el Cuadro 5. En 1987-1988, el gasto en I+D representó un 0,42 % del PIB.

En noviembre de 1993, se dieron a conocer la Política Nacional de Tecnología (NTP) y el Plan de Acción para el Desarrollo de la Tecnología (TDAP). El objetivo de la NTP es optimizar el desarrollo basado en la tecnología e incrementar la base científica ya existente, mientras que el TDAP se centra en proyectos y acciones específicos de política científica y técnica para cumplir los objetivos de la NTP.

Actualmente, la actividad de C&T en Pakistán se halla organizada de la siguiente manera: El órgano principal para la adopción de la política de C&T, su planificación y coordinación, es el Ministerio de Ciencia y Tecnología, que está en relación con dos importantes entidades autónomas, el Consejo de Ciencia y Tecnología del Pakistán (PCST) y la Fundación del Pakistán para la Ciencia (PSF). Las principales funciones del PCST son: asesorar al Gobierno sobre política científica y promoción del esfuerzo nacional en pro de la ciencia; controlar la labor de los Consejos de Investigación; y vincular la labor científica con los planes nacionales de desarrollo. El PSF es esencialmente un organismo de financiación para el fomento de la investigación básica.

La labor de investigación científica y técnica se efectúa sobre todo en:

- Organismos autónomos o semiautónomos vinculados administrativamente a los ministerios federales o a la secretaría del primer ministro.
- Institutos de C&T y centros experimentales sobre el terreno, dependientes del Gobierno federal y de los gobiernos provinciales.
- Unidades pequeñas de C&T del sector empresarial, público y privado.

En 1990, Pakistán contaba con un total de 16.000 personas dedicadas a actividades de I+D, de las cuales 6.626 eran científicos o ingenieros. El desglose de esta última cifra, por sectores de actividad, es el siguiente: 2.558 en ciencias biológicas, 2.049 en agricultura, 1.277 en ingeniería, 315 en medicina y 67 en ciencias sociales.

CUADRO 5
ASIGNACIONES DEL GOBIERNO FEDERAL DE PAKISTÁN
PARA C&T POR SECTORES (1988-1993)

Sector	Total de las inversiones (millones de rupias)	Asignaciones para C&T
Agricultura	9 511	1 439
Industria	7 278	804
Minería	5 232	260
Agua	19 224	124
Energía		
Electricidad	89 347	757
Carburantes	34 100	—
Transportes y comunicaciones	52 074	294
Planificación del espacio físico y viviendas	2 640	20
Educación, ciencia y tecnología	11 153	3 260
Salud	3 073	84
Programas sociales, culturales y para el bienestar de la población	14 665	—
Total	248 297	7 042

Fuente: Asian and Pacific Centre for Transfer of Technology (APCTT), 1991.

SRI LANKA

Sri Lanka tiene la ventaja de poseer una tasa de adultos alfabetizados que alcanza el 89 %, pero este interés manifiesto por la educación sólo se ha extendido recientemente al ámbito de la C&T, que ha sido reconocida como un factor clave del desarrollo. En 1981 se creó la Oficina de Recursos Naturales, Energía y Ciencia (NARESA), que sucedió oficialmente al Consejo Nacional de Ciencia de Sri Lanka (NSC), establecido en 1968, y que puede considerarse como la autoridad nacional en materia de tecnología ya que asesora al ministro competente sobre la política científica.

NARESA es uno de los organismos principales de financiación de la investigación científica en Sri Lanka. Disfruta de una posición más sólida que en el pasado y depende de un ministerio, concretamente del Ministerio de Ciencia,

Tecnología y Desarrollo de los Recursos Humanos (MSTHRD).

La política nacional científica y tecnológica de Sri Lanka comprende cuatro aspectos: estructurar los recursos aportados a la I+D, en función de las disponibilidades y de las futuras necesidades; determinar las prioridades nacionales en materia de investigación; dar primacía a la competitividad industrial; y asegurar la investigación a corto y medio plazo sobre las tecnologías de vanguardia.

No existe un organismo centralizado para asesorar sobre los sistemas de transferencias de tecnologías y controlarlos, pero el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Técnicos (NERDC) y el Instituto Cingalés de Investigación Científica e Industrial se encargan de facilitar las transferencias.

Las universidades cuentan con poco dinero para la investigación. NARESA les proporciona subsidios y además negocia la concesión de subvenciones del extranjero para ellas; también se encarga de administrar los subsidios destinados a los institutos de investigación dependientes de otros ministerios.

Debido a la reglamentación financiera y a los imperativos presupuestarios del país, en 1990 sólo se consagró a la I+D el 0,13 % del PIB, lo cual representa una disminución si lo comparamos con las cifras registradas en la década de los ochenta, que llegaron a alcanzar un nivel del 0,18 % al 0,19 %. Los institutos de agronomía son prioritarios en materia de investigación. Un 11 % aproximadamente del gasto total en I+D procede de fondos extranjeros.

CONCLUSIÓN

Las comunidades científicas de Asia Meridional tienen una serie de problemas y dificultades comunes, aunque su intensidad varíe de un país a otro. Las instalaciones para la investigación son inadecuadas por regla general, la condición social de los investigadores científicos es relativamente inferior a la de otras profesiones y sus niveles de ingresos mucho menores. Hay una escasez de personal calificado y capacitado, aunque a veces se da la paradoja

de que se utiliza por debajo de sus capacidades al personal con formación, allí donde existe; además, las autoridades tiene tendencia a subvalorar al personal científico y técnico autóctono, recurriendo con exceso a los «expertos extranjeros». Los investigadores individuales padecen las consecuencias de la falta de técnicas de formación y de libertad de investigación. Por lo tanto, no es asombroso que el éxodo de cerebros se haya convertido en un problema que afecta al conjunto de los países de la región. En el plano político, falta frecuentemente interés por la ciencia y la tecnología, lo cual acarrea deficiencias de planificación y coordinación en materia de C&T. El sector empresarial privado de I+D no existe prácticamente en Asia Meridional; y se consagran recursos y esfuerzos escasos a la innovación tecnológica, a causa de la política de plantearse la I+D como una actividad de aporte de recursos.

En los Cuadros 6 a 9 se presentan los últimos datos disponibles sobre la situación socioeconómica, científica y tecnológica de los países tratados en este capítulo. La falta de estructuras de información y de reuniones en algunos estados hace que la cantidad y calidad de los datos no sea siempre satisfactoria.

En la región, los campos de investigación comprenden: el sondeo de aguas subterráneas; el tratamiento de productos alimentarios; las fuentes de energía no convencionales (o renovables); los materiales baratos para la construcción de viviendas; las plantas medicinales; las biotecnologías; la investigación ecológica, ambiental y sobre contaminación; la detección a distancia; y las redes de información, el tratamiento de datos y la documentación.

Es obvio que se necesita una cooperación regional para compartir experiencias sobre el desarrollo tecnológico y la

CUADRO 6
ALGUNOS DATOS SOCIOECONÓMICOS SOBRE LOS PAÍSES DE ASIA MERIDIONAL

	Afganistán	Bangladesh	Bhután	India	Mongolia	Myanmar	Nepal	Pakistán	Sri Lanka
Población a mediados de 1992 (en millones)	19,1	119,3	1,6	870,0	2,3	43,7	20,6	119,1	17,4
PIB (en millones de dólares de los Estados Unidos, 1992)	11 495	23 783	238	242 269	966	37 749	2 763	41 904	8 769
Tasa de alfabetización de adultos (porcentaje de la población mayor de 15 años, 1992)									
Total	32	37	41	50 ¹	—	82	37	36	89
Hombres	48	49	55	64 ¹	—	90	39	49	94
Mujeres	15	23	26	35 ¹	—	72	14	22	85
Porcentaje del gasto en educación con respecto al PIB²	4 (1988)	2,3 (1992)	3,4 (1988)	3,7 (1992)	8,5 (1991)	2,4 (1989)	2,0 (1991)	2,7 (1991)	3,3 (1993)
Personas matriculadas en la enseñanza superior²	24 333 (1990)	434 309 (1990)	422 (1986)	4 804 500 (1992-1993)	28 209 (1991)	260 200 (1991-1993)	110 339 (1991)	721 600 (1992-1993)	61 628 (1988)

1. En India, el porcentaje se refiere a la población con más de 7 años de edad.
2. Los años de referencia en las estadísticas van entre paréntesis.
— Datos no disponibles.

Fuente: *Anuario Estadístico de la UNESCO, 1994; Informe sobre Desarrollo Humano, 1994, PNUD; The World of Learning, 1994, Asociación de Universidades de la India para Datos Estadísticos; UNCTAD, The Least Developed Countries Report, 1993-1994; Estudio del Banco Mundial sobre Bhután, 1989; World Development Report, 1994.*

industrialización. Algunos campos concretos de cooperación serían: la coordinación de la investigación a largo plazo en ámbitos estratégicos; el establecimiento de redes informatizadas e intercambios de información; la utilización conjunta de instalaciones para educación superior, la capacitación profesional de índole científica y técnica, y los intercambios de experiencias docentes; y, por último, la formulación de una política regional de cooperación multi-lateral y bilateral.

BIBLIOGRAFÍA

- APCTT (1988) *Technology Policies and Planning - Nepal*, Country Study Series, Nueva Delhi.
- APCTT (1991) *Technology Policy Studies - Pakistan*, segunda edición. Country Study Series.
- CSIR (1994) *Status Report on S&T in India*, Nueva Delhi, Consejo de Investigación Científica e Industrial.
- Cunningham P. y B. Baker (comps.) (1992) *World Technology Policies*, Longman, Londres y Harlow.
- DST (1992-1993a) *Research and Development in Industry*, Nueva Delhi, Departamento de Ciencia y Tecnología del Gobierno de la India.

CUADRO 7
PERSONAS MATRICULADAS EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR CIENTÍFICA Y TÉCNICA EN ASIA MERIDIONAL

Países ¹		Ciencias			Total de Ciencia	Total de Ingeniería ²	Total de Ciencia e Ingeniería ²
		Biológicas	Medicina	Agronomía			
Afganistán (1990)	Total	1 237	655	1 256	3 148	504	3 652
	Mujeres	666	286	307	1 259	183	1 422
Bangladesh (1990)	Total	83 026	7 641	4 175	94 842	6 126	100 968
	Mujeres	13 791	2 087	291	16 169	300	16 469
Bhután	Total	—	—	—	—	—	—
	Mujeres	—	—	—	—	—	—
India (1992-1993)	Total	942 600	163 500	61 500	1 167 600	234 100	1 401 700
	Mujeres	318 600	53 800	4 800	377 200	19 200	396 400
Mongolia (1986)	Total	1 102	5 899	5 788	12 789	12 803	25 592
	Mujeres	715	5 190	2 744	8 649	5 465	14 114
Myanmar	Total	—	—	—	—	—	—
	Mujeres	—	—	—	—	—	—
Nepal (1991)	Total	12 113	1 777	1 175	15 065	2 268	17 333
	Mujeres	1 565	921	111	2 597	196	2 793
Pakistán (1989)	Total	28 663	48 482	17 380	94 525	66 473	160 998
	Mujeres	6 523	16 360	253	23 136	1 453	24 589
Sri Lanka (1991)	Total	8 594	4 787	2 095	15 476	6 853	22 329
	Mujeres	2 239	1 867	878	4 984	1 162	6 146

1. Los años de referencia de las estadísticas van entre paréntesis.
2. La ingeniería incluye la tecnología.
— Datos no disponibles/Nulo.

Fuente: *Anuario Estadístico de la UNESCO, 1994*. Los datos referentes a la India provienen de la Comisión de Subvenciones para las Universidades de este país.

CUADRO 8
INSTITUCIONES EN ASIA MERIDIONAL POR CATEGORÍAS

Países	Academias	Sociedades científicas	Institutos de investigación	Universidades	Otros centros de enseñanza superior	Bibliotecas/ Archivos	Museos
Afganistán	1	2	2	5	23	6	7
Bangladesh	1	15	11	7	163	11	3
Bhután	1 ¹	—	—	1	7	2	1
India	12	400	2 545	210	7 513	885 ²	50
Mongolia	1	—	67	4	6	4	9
Myanmar	—	7	9	3	36	25	7
Nepal	2	5	—	3	—	9	1
Pakistán	3	49	54	23	774	51	13
Sri Lanka	1	23	23	10	8	15	10

1. Comisión Especial.

2. Bibliotecas que figuran en el Catálogo Nacional de la Unión de Institutos Científicos de la India.

— No disponible/Nulo.

Fuente: *The World of Learning*, 1994. Los datos referentes a la India provienen de: *S&T Pocket Data Book* (1993), Centro Nacional Indio de Documentación Científica, Asociación de Universidades Indias.

CUADRO 9
PERSONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN ASIA MERIDIONAL

Países	Año	Total (EJC ¹)	Científicos e Ingenieros		Técnicos	
			Total	Mujeres	Total	Mujeres
India	1992	193 688	95 486	8 490	98 202	7 096
Myanmar	1975	2 220	1 720	—	500	—
Nepal	1980	409	334	—	75	—
Pakistán	1990	15 940	6 626	464	9 314	—
Sri Lanka	1985	3 483	2 790	667	693	188

1. EJC: Equivalente Jornada Completa.

2. Datos relativos a Afganistán, Bangladesh, Bhután y Mongolia no disponibles.

Fuente: *Anuario Estadístico de la Unesco, 1994*. Departamento de Ciencia y Tecnología (DST), Nueva Delhi.

DST (1992-1993b) *Research and Development Statistics*, Nueva Delhi. Departamento de Ciencia y Tecnología del Gobierno de la India.

DST (1993) *Science and Technology Pocket Data Book*, Nueva Delhi, Departamento de Ciencia y Tecnología del Gobierno de la India.

DST (1994) *Directory of R&D Institutions*, Nueva Delhi, Departamento de Ciencia y Tecnología del Gobierno de la India.

The Economist Intelligence Unit Limited, (1993 y 1994) *EIU Country Profile 1993/94 and 1994/95*, Londres.

Fuller, S. C. (comp.) (1976) *Guide to World Science*, Volumen 15, South East Asia, Guernsey, Francis Hodgson.

Gopal, D. y Qureshi, M. A. (1987) *Science, Technology and Development in Afghanistan*, Nueva Delhi, Navrang Publications.

A. R. Rajeswari es asesora del Departamento de Ciencia y Tecnología (DST) del Gobierno de la India. Es matemática y estadística, y fue profesora de la Universidad de Bombay y del Instituto Nacional de Capacitación en Ingeniería Industrial antes de trabajar para la Minerals & Metals Trading Corporation. En 1976, la Dra. Rajeswari fue nombrada funcionaria científica del Departamento de Ciencia y Tecnología (DST) de Nueva Delhi, donde ha ocupado sucesivamente los cargos de jefa de servicio y asesora adjunta, antes de pasar a ocupar las funciones de asesora (NSTMIS) del Departamento a partir de 1993. El desempeño de este cargo lleva aparejada la responsabilidad de la publicación de una serie de anuarios e informes autorizados sobre C&T en la India. También ha publicado numerosos trabajos a título personal y ha sido consultora de la UNESCO, de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) y de la Comisión Económica y Social para Asia y el Pacífico de las Naciones Unidas (CESPAP).

AGRADECIMIENTOS

La autora desea expresar su reconocimiento al Departamento de Ciencia y Tecnología del Gobierno de la India por haberle permitido redactar este capítulo. Asimismo, quiere agradecer al Dr. G. J. Samathanam la ayuda prestada en la recopilación de datos y la búsqueda de publicaciones.

Las opiniones expresadas en este capítulo son las de la autora y no reflejan forzosamente el punto de vista del Departamento de Ciencia y Tecnología del Gobierno de la India.

Irán

CYRUS YEGANEH

La cultura y la civilización iraníes, antes de la era islámica y durante ella, han tenido gran afinidad por la ciencia, la tecnología y el desarrollo, al tiempo que aspiraban a altos niveles de espiritualidad y moralidad. Existían en la civilización iraní cimientos muy fuertes para los ulteriores adelantos científicos y tecnológicos, en particular durante la era islámica, cuando grandes figuras como Avicena, Razes, Khwarazmi, Khayyam, Suhrewardi y Rumi dieron al Irán un lugar aparte de los demás países en el mundo entonces contemporáneo.

Durante los siglos posteriores, la sentencia del Profeta: «Busca la ciencia aun si está tan lejos como China» impidió cualquier contradicción entre ciencia y religión. La cultura y la civilización iraníes siguieron concediendo un gran valor al aprendizaje científico y sus representantes dieron pruebas de grandes aptitudes y capacidades científicas. No obstante, el resultado dista aún mucho de ser satisfactorio, ya que las instituciones, las estructuras y la organización social que son los requisitos esenciales para el avance de la ciencia han estado ausentes de la sociedad iraní durante los últimos siglos. Aunque en el presente siglo se han reconstruido poco a poco las estructuras y formas de organización modernas, este proceso fue interrumpido por dos guerras mundiales, la intervención de grandes potencias extranjeras, así como la violencia intestina y la agitación social. En la actualidad, las fuerzas que en otras partes del mundo han impulsado la ciencia y la tecnología están naciendo en el Irán, pero falta aún mucho para que se realice plenamente el potencial que encierran. Hasta entonces, la «fuga de cerebros» será tan sólo una de las consecuencias de esta situación.

A pesar de los ricos y variados recursos naturales y de una población con una actitud por lo general favorable a la ciencia, la mayoría de las empresas parecen no sentir interés por la ciencia y la investigación. La relativa debilidad de la economía, debida principalmente a una excesiva dependencia con respecto a las exportaciones de petróleo y a la mentalidad que predomina en el país, es el principal obstáculo estructural para el desarrollo de la ciencia y la tecnología en una escala comparable a la de los países industrializados. En toda la población hay muy pocas per-

sonas, aun entre las más educadas, que tengan una idea aproximada de los ingresos anuales nacionales procedentes del petróleo. Éstos ascienden a la cifra a primera vista impresionante de 14.000 millones de dólares estadounidenses, pero que representa de hecho un ingreso per cápita más bien bajo de 150 dólares anuales, y la cifra total equivale a las ventas brutas de una empresa mediana en muchos otros países, muy inferior desde luego a las grandes empresas como Sony, Walmart o Gulf, cuyas ventas anuales alcanzan 33.000, 44.000 y 150.000 millones de dólares respectivamente.

Las importaciones anuales totales ascienden en la actualidad a 20.000 millones de dólares y las exportaciones no petroleras a 4.400 millones de dólares. Sólo 1.100 millones de dólares se reintegran en la economía doméstica, el resto constituye fuga de capitales. La deuda externa asciende hoy día a 6.000 millones de dólares. Las exportaciones no petroleras consisten en alfombras, pistaches, hierro y acero, productos químicos, cobre y pieles. Teniendo en cuenta que el ingreso per cápita es de 1.000 dólares, el gobierno ha subsidiado fuertemente los bienes y servicios; se gastan 3.500 millones de dólares en la importación de 39 productos de primera necesidad, como el aceite comestible, el arroz y el azúcar (que cuestan 560, 308 y 270 millones de dólares respectivamente).

No hay una sola gran industria que no sea propiedad del Estado y el resultado es una de las economías más centralizadas del mundo. Por consiguiente, la organización y la gestión de la mayoría de las empresas no alcanzan los niveles mundiales; la motivación y la disciplina laboral también son insuficientes. La economía se caracteriza por la escasez y el monopolio, y los bienes y servicios son de baja calidad. No hay por tanto ningún incentivo inherente a favor de la investigación y el desarrollo por parte de la mayoría de las empresas. El resultado es una productividad baja y el círculo vicioso de un débil poder adquisitivo, una producción de baja calidad y cantidad, una dependencia con respecto a los subsidios gubernamentales concedidos a los artículos de primera necesidad importados y una falta de incentivo hacia el logro de resultados.

LA POLÍTICA CIENTÍFICA DEL GOBIERNO

Un total de 112 institutos de investigación más importantes que están activos en Irán son administrados por varios ministerios y agencias.

Las principales instituciones científicas del Irán son las siguientes:

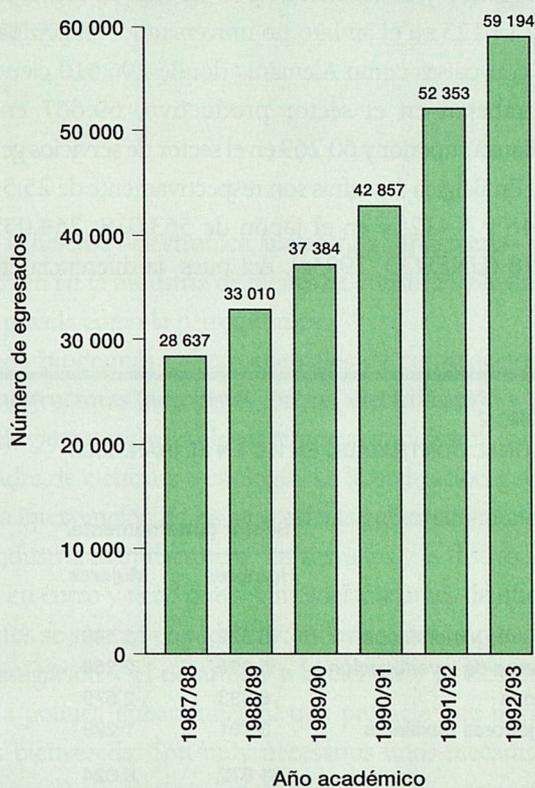
- El *Viceministerio de Investigación del Ministerio de Cultura y Enseñanza Superior (MCES)* está encargado de la coordinación general de la investigación en 40 universidades y 14 instituciones de investigación asociadas. El Ministerio de Salud, Tratamiento y Enseñanza Médica tiene a su cargo 25 universidades de medicina.
- El *Viceministerio de Tecnología del Ministerio de Cultura y Enseñanza Superior*, creado muy recientemente, se encarga de la principal institución de investigación, la Organización Iraní de Investigación y Tecnología (OIIT), en cuyos ocho departamentos, entre ellos los de biotecnología y de ingeniería mecánica, se lleva a cabo la mayor parte de la investigación aplicada y la actividad experimental hasta la producción semi-industrial.
- El *Consejo Nacional de Investigación* es el principal órgano de supervisión de la política de investigación. Depende de la oficina del Presidente y comprende siete comisiones: industria, agricultura, agua, energía, ciencias naturales, ciencias sociales y humanas y medicina, cada una de las cuales coordina la política de investigación en los correspondientes departamentos de investigación ministeriales, universidades e institutos de investigación.

Durante el segundo plan quinquenal de desarrollo económico, social y cultural (el actual), el Consejo Nacional de Investigación ha adoptado varias medidas, como el apoyo al sector de investigación a corto y mediano plazo, el incentivo a la inversión pública y privada en la investigación, el apoyo a los centros de investigación públicos y privados, la creación de unidades de investigación y desarrollo y una mejor utilización de los resultados de la investigación. Se han hecho esfuerzos por crear cen-

tros de investigación regionales e internacionales en el Irán.

Durante el primer plan quinquenal se aplicó una política de expansión de las universidades que permitió a cada provincia recibir al menos una institución. Una de las prioridades del segundo plan es mejorar la calidad de la enseñanza superior y el MCES tiene por cometido contratar 10.000 nuevos docentes y profesores auxiliares. Las universidades han empezado a suscribir contratos de investigación con empresas públicas y privadas, pero el proceso es lento.

GRÁFICO 1
EGRESADOS DE LA ENSEÑANZA SUPERIOR
EN EL IRÁN EN 1987-1993



Fuente: Ministerio de Cultura y Educación Superior, 1994.

LOS RECURSOS HUMANOS EN CIENCIAS

Las estadísticas sobre los egresados de la enseñanza superior han registrado un aumento sostenido durante los últimos años (Gráfico 1). El desglose por asignatura para el año académico 1992-1993 figura en el Cuadro 1. Es notable el muy escaso número de mujeres diplomadas en ingeniería y agricultura; las elevadas cifras relativas a la medicina pueden explicarse en parte por la inclusión de las carreras de enfermería y paramédicas. Durante el año académico 1993-1994, 436.564 estudiantes ingresaron en 153 instituciones de enseñanza superior dependientes de 26 ministerios y otras agencias, incluso el MCHE. Aproximadamente 500.000 más fueron admitidos en la *Universidad abierta* (Open University) con fondos privados.

En el Cuadro 2 se indica el número de personas dedicadas a la investigación y el desarrollo en el Irán en 1993. Es significativo que del total de 39.311 trabajadores en investigación y desarrollo, 25.188 laboren en universidades y 14.123 en el ámbito no universitario, en comparación con países como Alemania donde 296.510 científicos trabajan en el sector productivo, 69.667 en la enseñanza superior y 60.269 en el sector de servicios generales. En Bélgica las cifras son respectivamente de 25.515, 11.846 y 1.412; y en el Japón de 563.018, 264.055 y 82.978 (UNESCO, 1994a). Así pues, la diferencia en el

CUADRO 1
EGRESADOS DE LA ENSEÑANZA SUPERIOR
EN EL IRÁN EN 1992-1993

Campo	Graduados		Total
	Hombres	Mujeres	
Ciencias naturales	4 213	2 342	6 555
Agricultura	3 029	139	3 168
Ingeniería	12 597	438	13 035
Medicina	7 570	9 176	16 746
Ciencias sociales, humanidades	12 517	6 053	18 570
Arte	656	464	1 120
Total	40 582	18 612	59 194

Fuente: Ministerio de Cultura y Educación Superior, 1994.

Irán entre el sector productivo y la enseñanza superior es muy pronunciada.

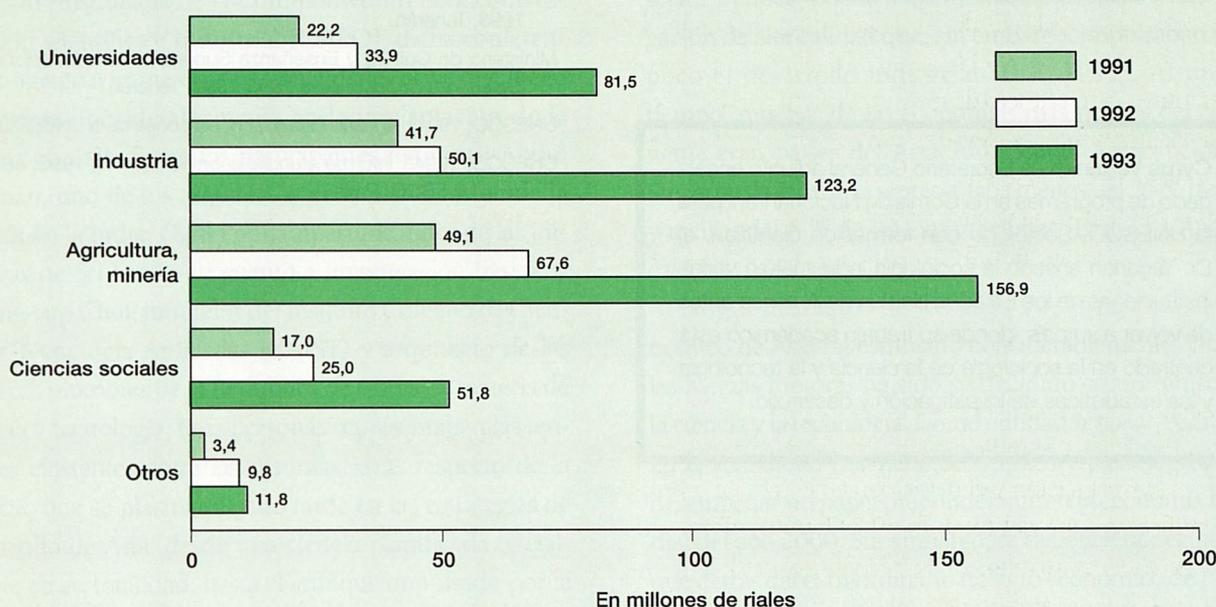
En 1993, el número total de ingenieros, científicos y auxiliares de investigación por cada millón de habitantes ascendía a 493, cifra superior a las registradas en América Latina y el Caribe (364) y los Estados árabes (363) (UNESCO, 1994a).

CUADRO 2
PERSONAL CONTRATADO EN I+D EN EL IRÁN, 1993

	Sector gubernamental		Sector no gubernamental		Total		Total
	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres	
Ingenieros y científicos	16 522	2 548	2 109	571	18 631	3 119	21 750
Auxiliares de investigación	5 226	2 268	240	153	5 466	2 421	7 887
Técnicos	6 833	2 579	194	68	7 027	2 647	9 674
Trabajadores auxiliares	3 291	1 229	149	113	3 440	1 342	4 782
Total	31 872	8 624	2 692	905	34 564	9 529	44 093

Fuente: *National Research Council*, 1995.

GRÁFICO 2
PRESUPUESTO DE I+D DEL IRÁN POR PROGRAMAS



Fuente: National Research Council, 1995.

INVERSIÓN EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

En el Gráfico 2 figuran los presupuestos en investigación y desarrollo en moneda local. El tipo de cambio actual es de 1.750 riales por un dólar estadounidense. En 1992, los gastos brutos en investigación y desarrollo representaron en el Irán el 0,40 % del PNB, mientras que en 1993 aumentaron para alcanzar el 0,53 %.

PERSPECTIVAS FUTURAS

El país y el gobierno se están recuperando básicamente de la guerra contra el Irak que ocasionó destrucciones estimadas en un billón de dólares. Queda mucho por reconstruir, aunque se han hecho ya esfuerzos considerables. Una consecuencia de la guerra ha sido una tendencia a la autosuficiencia, especialmente en las industrias relacionadas

con la defensa –electrónica, metalurgia e ingeniería– pero también en la industria de bienes de consumo y la industria pesada como la petroquímica.

Los programas gubernamentales de construcción de infraestructuras (autopistas, presas, electrificación y ductos de gas natural a las aldeas remotas) impulsaron las actividades de ciencia y tecnología. La liberalización gradual de la intervención de las altas esferas gubernamentales en la industria manufacturera, los servicios y la distribución está en curso y tiene que seguir adelante antes de que sus efectos se sientan en toda la economía y den impulso a la investigación y el desarrollo y la ciencia y la tecnología. Toda política gubernamental que propicie este impulso será bienvenida. Son muy necesarios unos mecanismos que movilicen el capital inactivo y creen nuevas posibilidades de fabricación y distribución de bienes –sin que el gobierno controle ni intervenga directamente– a fin de

suscitar la confianza, la autosuficiencia y el espíritu de empresa entre la población. La creación y consolidación de garantías jurídicas para los esfuerzos en el ámbito económico son decisivas para la prosperidad futura.

Cyrus Yeganeh es Secretario General adjunto encargado de programas en la Comisión Nacional iraní para la UNESCO. Sociólogo con formación científica, el Dr. Yeganeh enseñó la sociología industrial en varias instituciones de los Estados Unidos de América antes de volver a su país, donde su trabajo académico está centrado en la sociología de la ciencia y la tecnología y las estadísticas de investigación y desarrollo.

BIBLIOGRAFÍA

Consejo Nacional de Investigación, 1994, *National Research Report 1992*, Teherán.

Consejo Nacional de Investigación, 1995, *National Research Report 1993*, Teherán.

Ministerio de Cultura y Enseñanza Superior, 1994, *Estadísticas de Enseñanza Superior para 1993-1994*, Teherán.

UNESCO, 1994^a, *Anuario Estadístico*, ediciones de la UNESCO, París.

UNESCO, 1994^b, *Informe Mundial sobre la Ciencia*, 1993, ediciones de la UNESCO, París.

Asia Oriental y Sudoriental*

STEPHEN HILL, TIM TURPIN Y HEATHER SPENCE

Hace treinta años, en 1965, la UNESCO patrocinaba la primera conferencia sobre política y gestión de la ciencia en Asia. Celebrada en Australia bajo los auspicios de la Organización Australiana de la Commonwealth para la Investigación Científica e Industrial (CSIRO), dicha conferencia congregó a numerosas personalidades clave que luego influyeron considerablemente en la implantación de la ciencia en Asia. Entre los participantes figuraban Abdul Rahman, uno de los arquitectos de la planificación de la ciencia en la India; Cyril Ponnampereuma, líder de las iniciativas de Sri Lanka en cuanto a investigación básica, y Hyung-sup Choi, fundador del Instituto Coreano de Ciencia y Tecnología Aplicadas (KAIST) y arquitecto de las políticas ulteriores de la República de Corea en materia de ciencia y tecnología. Esas personas representaban las tensiones existentes entre las distintas ideas respecto de la ciencia, que se plasmaron más tarde en las estrategias de desarrollo de Asia: desde una ciencia planificada oficialmente en su totalidad, hasta el enfoque impulsado por la «ingeniería del desmontaje» y la demanda industrial, que caracterizaba el desarrollo de la República de Corea, pasando por enfoques impulsados por la ciencia y con menos intervención del sector público. En el momento de la conferencia Japón empezaba a elaborar una estrategia tecnológica orientada por la calidad y Corea a construir la infraestructura indispensable para su recuperación económica después de la guerra de Corea y la anterior ocupación japonesa. China era un país cerrado, que se debatía con su política del «Gran Salto Adelante» para proletarianizar la tecnología industrial, y aparte de algunos modelos de organización de la investigación, inspirados sobre todo por Gran Bretaña y centrados primariamente

en la agricultura, existía muy poca investigación en el Asia Sudoriental. Australia y Nueva Zelanda, también heredadas de un modelo colonial de investigación basado en el sector público, contaban con establecimientos de investigación de alta calidad que, sin embargo, impulsaban muy poco el desarrollo industrial (Hill, 1992). Al mismo tiempo, muchas de las economías más pobres del continente eran países del Asia Sudoriental. A excepción de Singapur, la industria representaba menos del 25 % del PIB y menos del 6 % de las exportaciones (East Asia Analytical Unit, 1992, pág. 14).

Hoy, a mediados de los años 90, el panorama económico de Asia ha cambiado considerablemente. Una de las fuerzas motoras ha sido su decidido compromiso con la ciencia y la tecnología. Como entidad *regional*, Asia tiene en la actualidad potencial económico y tecnológico para desempeñar un papel preponderante en la economía mundial del año 2000. Sin embargo, se deberá tener en cuenta que detrás del extraordinario milagro económico de Japón, la República de Corea, Taiwan y los denominados «Tigres de Asia», o bien «economías dinámicas de Asia» según la OCDE, no hay una trayectoria de Asia, sino un complejo entramado de distintas evoluciones de la ciencia y la tecnología, cada una de las cuales refleja las diferencias nacionales en cuanto a cultura, historia y situación actual de desarrollo.

En consecuencia, en esta reseña de la ciencia y la tecnología en el Asia Oriental y Sudoriental, procuraremos mostrar algo de las fuerzas y limitaciones que caracterizan a la región y al mismo tiempo echar un vistazo a la diversidad que también es una característica de Asia en las postrimerías de este milenio¹ (Ver pág. siguiente).

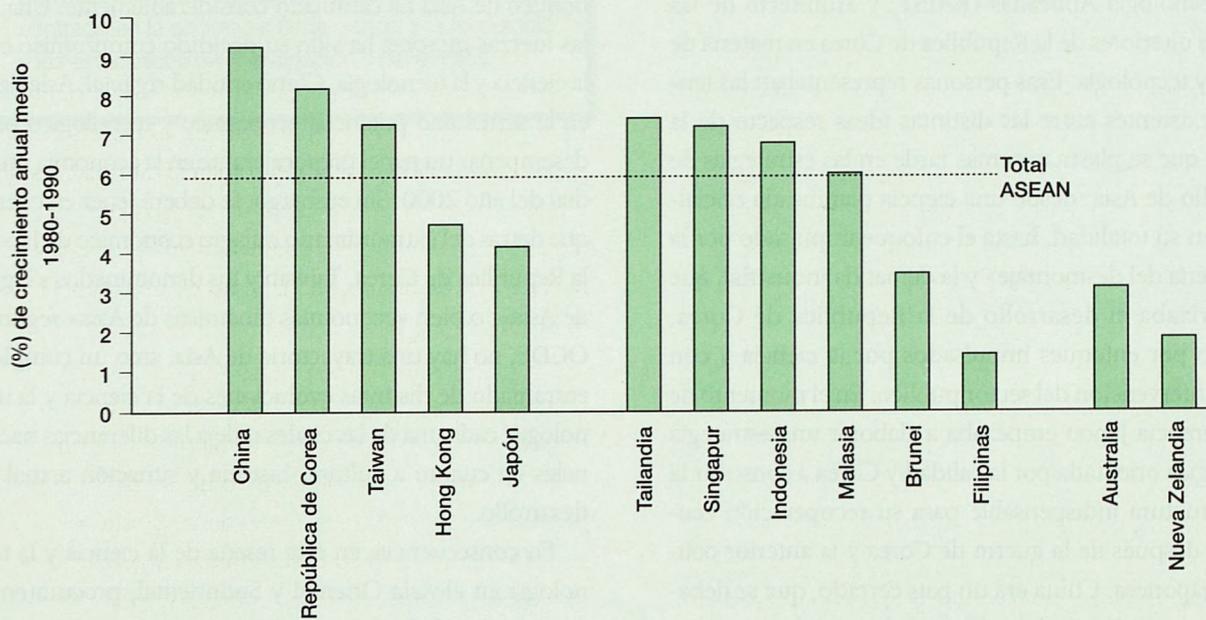
* Este capítulo versa principalmente sobre los países del Asia Oriental, el Asia Sudoriental y Australasia. Como China se trata en un capítulo separado, sólo se ha mencionado brevemente cuando su presencia era de gran importancia para otras estrategias nacionales. Por una razón similar se ha excluido el Asia Meridional. A fin de que el capítulo fuera de proporciones manejables, se excluyeron los países indochinos, aunque en Viet Nam se están produciendo algunos fenómenos de gran importancia. Dentro del Asia Oriental y Sudoriental hay pues dos grupos bastante diferentes de países: los países y áreas económicamente pujantes como Japón, la República de Corea, Taiwan, Singapur y más recientemente la República Popular de China, por una parte, y los países agrupados hoy en la ASEAN, a saber, Brunei Darussalam, Filipinas, Indonesia, Malasia, Tailandia (así como Singapur y, recientemente, Viet Nam). Los países de Australasia, Australia y Nueva Zelanda, se han incluido también para establecer comparaciones, ya que en el último decenio han comenzado a establecer relaciones cada vez más estrechas con el resto de Asia. Es una agrupación muy mezclada de economías. Por consiguiente, este capítulo se propone presentar un cuadro general de la ciencia y tecnología (C&T) en esta zona de Asia, determinando, de ser el caso, las principales variaciones debidas a la condición económica y la situación del país. Dadas las limitaciones de espacio, el capítulo se habrá de considerar más bien un esbozo de los principales rasgos que no una exposición completa.

CONTEXTO ECONÓMICO Y SOCIAL

Excluido Japón, el incremento anual real del Producto Nacional Bruto (PNB) de los países y las economías del Asia Nororiental (República de Corea, Taiwan y República Popular de China) fue en promedio de 7,3 % y 9,3 % durante el último decenio, superando en algunas regiones del sur de China el 30 % anual. En Japón, la economía

dominante de la región con el 69 % del Producto Interno Bruto (PIB) de toda el Asia Oriental y Sudoriental, el porcentaje fue del 4,2 % anual durante ese mismo periodo y también fue elevado el índice de crecimiento de los países que integran la Asociación de Naciones del Sudeste Asiático (ASEAN) (Gráfico 1). Durante el último decenio, Singapur, Malasia, Indonesia, Tailandia, Filipinas y Brunei Darussalam tuvieron colectivamente como promedio un

GRÁFICO 1
NIVELES DE CRECIMIENTO ECONÓMICO EN PAÍSES Y TERRITORIOS ESCOGIDOS DE LA CUENCA DEL PACÍFICO



Fuente: FMI (Fondo Monetario Internacional, 1992); *International Financial Statistics*, Washington, D.C.: FMI.

1. Sin embargo quisiéramos añadir una reserva. Los datos e indicadores sobre C&T en los países de la OCDE se han venido acopiando desde hace dos decenios. En Asia, empero, no es frecuente encontrar ese rigor y coherencia de metodología. STEPAN, la Red Asiática de Políticas sobre Ciencia y Tecnología, con sede en la UNESCO; PECC, el Consejo de Cooperación Económica en el Pacífico, y otros organismos han venido colaborando con distintos países y en toda la región sobre sistemas de información de C&T, pero aún no se dispone de fuentes de datos coherentes, comparables con los de la OCDE. Por lo tanto, el presente informe se basa en una gran variedad de fuentes, incluidas las colecciones de datos de los distintos países. Los datos citados con mayor frecuencia son los publicados en 1993 por la Fundación Nacional de Ciencias de Estados Unidos (NSF, 1993), que constituyen la fuente para la mayoría de los datos ulteriores de la OCDE sobre Asia (OECD, 1994), para numerosos informes e incluso para parte del conjunto de datos sobre Indonesia, compilado con asistencia de los Estados Unidos (BPPT, 1993). Sin embargo, los datos de la NSF sólo se refieren a un pequeño número de economías asiáticas y las fuentes originales a veces no son exactas ni están actualizadas. Dado el propósito del presente capítulo no siempre fue posible comprobar o enmendar esas cifras. El *Anuario Estadístico de la UNESCO* (UNESCO, 1993) se prepara sin tener acceso a un examen metodológico independiente de los informes nacionales y con frecuencia depende de la limitada capacidad que tiene un país de realizar encuestas adecuadas. En consecuencia, es posible que los datos presenten lagunas significativas, en particular en las series cronológicas, y que no siempre sean tan comparables como aparece en los cuadros. Así, el lector deberá ser prudente al aceptar la autoridad de datos que podrían ser inexactos, por estar muy alejados de las fuentes originales (tal es el caso de la OCDE). Por otra parte, éstos son los mejores datos de que se dispone. En *Referencias y lecturas*, al final del texto, figuran las principales fuentes de datos que son útiles para analizar la información sobre C&T de la región reseñada en el presente informe.

crecimiento del 5,8 % anual. Estos índices contrastan claramente con los de la OCDE para el mismo periodo, que giran en torno al 2,7 %.

CUADRO 1
NIVELES DE CRECIMIENTO ECONÓMICO EN PAÍSES
Y TERRITORIOS ESCOGIDOS DE LA CUENCA DEL PACÍFICO

País/Territorio	PIB (en miles de millones de dólares EE. UU., precios actuales) ¹	Índice de crecimiento anual medio (en %) ²
	1990	1980-1990
China ³	369,75	9,28
Hong Kong ⁴	81,79	4,70
Japón	2 940,36	4,20
Rep. de Corea	244,04	8,29
Taiwan	180,65	7,30
Brunei	5,10	3,50
Indonesia	107,29	6,76
Malasia	42,37	5,82
Filipinas	44,20	1,45
Singapur	35,13	7,36
Tailandia	80,17	7,52
Total ASEAN	314,26	5,83
Australia	294,61	3,15
Nueva Zelanda	44,03	1,85

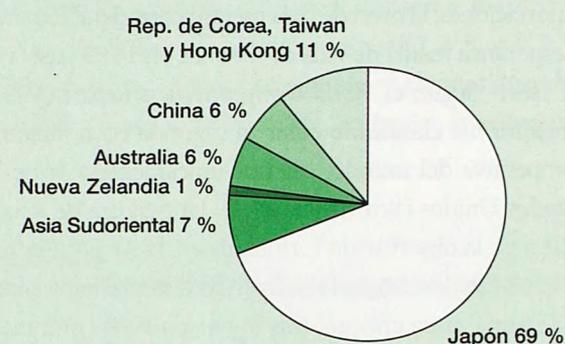
1. Las cifras relativas a los niveles de PIB y a los tipos de cambio para la conversión de las monedas nacionales en dólares de los Estados Unidos provienen del Fondo Monetario Internacional (1992). Los tipos de cambio aplicados dependían de la economía, pero correspondían al tipo de cambio comercial medio de 1990 o al tipo de cambio oficial del mismo año.
2. Los índices medios de crecimiento del PIB a lo largo del decenio de 1980 se calcularon para cada país cuyos datos estaban disponibles, calculando el promedio de las cifras anuales publicadas por el FMI (1992).
3. Las cifras relativas al PIB de China no estaban disponibles en la fuente del FMI. Como en la publicación las cifras referentes al PNB se basaban en una base de datos similar que contenía el PIB de los demás países, se prefirió utilizar esta cifra antes que el PIB procedente de otra fuente.
4. En la publicación del FMI no se dispone de cifras para Hong Kong, Brunei o Taiwan. Se utilizaron las cifras correspondientes al crecimiento de 1990, basadas en las estadísticas publicadas en *Asia Week*, septiembre de 1992.

Fuente: FMI (Fondo Monetario Internacional, 1992); *International Financial Statistics*, Washington, DC: FMI.

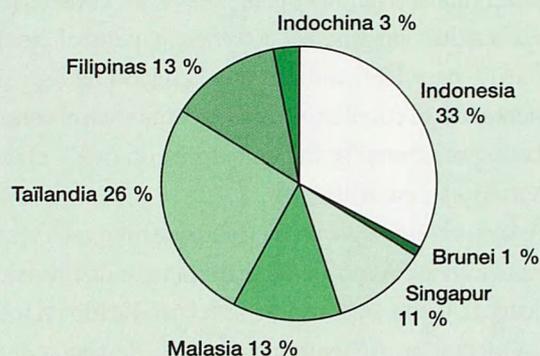
El crecimiento representa asimismo una transformación de la estructura económica. En los países pertenecientes a la ASEAN la industria aportó en promedio bastante más de la tercera parte del PIB y más del 40 % de las exportaciones; el nivel de vida mejoró considerablemente, la esperanza media de vida de 49 años en 1965 pasó a 63 en 1991. Según el *World Competitiveness Report* (1994), Singapur fue clasificado como la segunda economía más competitiva del mundo, inferior únicamente a la de los Estados Unidos (Yeo, 1995: 24.2). La pujanza de Asia se refleja en la observación formulada en 1991 por *Far East Economic Review*, según la cual el Asia Oriental había alcanzado «una masa crítica», tras lograr un PNB combinado de un billón de dólares y un aumento en bienes y servicios superior al de América del Norte y la Comunidad Europea juntas (Holloway *et al.* 1991). En consecuencia, pese a la reducción general del comercio mundial, las cifras del GATT para 1993 indican que la región de Asia sigue aumentando su cuota en el comercio mundial: el volumen de las exportaciones se incrementó en un 6 % y el de las importaciones en un 10,5 %.

Asia es, sin embargo, un mercado que mira cada vez más hacia el interior. A raíz de un gran número de inversiones directas de Japón en la región, se ha producido en toda el Asia Oriental un aumento masivo de la demanda de bienes de capital. Las exportaciones de la República de Corea a Asia aumentaron en los dos últimos años del decenio de los ochenta en el 66 %, totalizando 5.100 millones de dólares; Asia ha superado a América del Norte como mercado más importante de Japón. Inversamente, aparte de las relaciones económicas más importantes, el índice de exportaciones hacia Japón ha aumentado vertiginosamente en los países de Asia que se desarrollan con mayor rapidez. Así, las exportaciones indonesias de maquinaria y equipos de transporte y de distintos productos manufacturados aumentan en la actualidad al pasmoso ritmo de 325 % y 153 % anual, respectivamente. Las exportaciones chinas de maquinaria y equipos de transporte se están incrementando en el 115 % anual y las de distintos productos manufacturados de Tailandia en el 116 % anual. La Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desa-

GRÁFICO 2
PROPORCIÓN DEL PIB REGIONAL POR PAÍS
O TERRITORIO DEL PACÍFICO, 1991



Asia Sudoriental (detalle)



Nota: Indochina comprende Camboya, la Rep. Pop. Lao y Viet Nam. Los datos relativos a Brunei y la Rep. Pop. Lao corresponden a 1990. Los datos relativos a Indonesia y Camboya son estimaciones.

Fuente: Australian Business Challenge: South-East Asia in the 1990's: Fig. 1.1, pág. 13. Banco Asiático de Desarrollo, *Asian Development Outlook*, Manila, 1992. The Economist Intelligence Unit, *Global Forecasting Unit Quarterly Forecasts (Various countries, Various quarters)*. Fondo Monetario Internacional, *Direction of Trade*, 1992. Bank Negara, *Economic Report*, Malasia, 1992.

rollo (UNCTAD) señaló en 1990 la aparición en esta región de una red no oficial de comercio con base en Japón (UNCTAD, 1990). Desde entonces la APEC, el foro de Cooperación Económica de Asia y el Pacífico, ha empezado a consolidar los vínculos comerciales dentro de esa región.

Orientada anteriormente en sus estrategias comerciales hacia América del Norte y Europa, también Australia se está

integrando cada vez más, tanto política como económicamente, en la economía asiática. Así, entre 1982 y 1992 sus exportaciones a los miembros de la ASEAN aumentaron a un ritmo de 19 %, sobrepasando considerablemente el crecimiento de 11 % de las exportaciones en general. Al mismo tiempo, tanto en lo que atañe a importaciones como a exportaciones, la industria de transformación viene ocupando una proporción cada vez mayor del comercio entre Australia y los países de la ASEAN, a saber, del 23 % al 36 % de las importaciones y del 21 % al 23 % de las exportaciones en los cinco últimos años. Australia ocupa un lugar relevante en este contexto. En efecto, su PIB totaliza casi tanto como el conjunto de los países de la ASEAN (Gráfico 2). Asimismo, fue ese país, en asociación con la República de Corea, el que fomentó en 1989 la creación de la APEC, la organización económica regional que está propiciando la apertura de las relaciones comerciales de Asia.

El crecimiento económico de Asia y una identidad regional cada vez mayor, expresada en el ámbito político y económico, son, por consiguiente, una nueva fuerza importante dentro de la economía mundial.

EL COMPROMISO CON LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA, MOTOR DEL CAMBIO EN ASIA

Lo más importante es que la punta de lanza del cambio en la región está dirigida por el conocimiento. Como economía fundada actualmente en su capacidad de captar y explotar el saber, Japón está a la vanguardia tanto respecto de la inversión total en I+D como en la consiguiente proporción de Gasto Interno Bruto en I+D (GIBID) en relación con el PIB. La proporción entre I+D y PIB alcanzó su más alto nivel en 1990-1991 con el 3,02 %; en 1993, último año del que existen datos, fue de 2,92 %, o sea una inversión total de 13.709 millones de yenes.

En Japón I+D están financiados sobre todo por la industria. Como muestra el Gráfico 3, la mayor parte del aumento de la inversión en investigación corre por cuenta de la industria. Sin embargo, la nación ha tomado con-

GRÁFICO 3
EVOLUCIÓN DE LOS GASTOS EN I+D DE JAPÓN



Fuente: STA Today (1995). *Journal of the Science and Technology Agency*, Fundación para el Fomento de la Ciencia y la Tecnología de Japón, Vol. 7 (N.º 1), pág. 6.

CUADRO 2
EVOLUCIÓN DEL GASTO INTERNO BRUTO EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO (GIBID) EXPRESADO COMO % DEL PIB EN ECONOMÍAS ESCOGIDAS

País/Territorio	GIBID como % del PIB	
	1981	1991
China	0,80	0,72 ¹
Japón	2,13	3,02
República de Corea	0,62	1,86
Taiwan	0,93	1,69 ¹
Indonesia	—	0,20
Malasia	—	0,80
Filipinas	—	0,20
Singapur	0,28	1,27 ²
Tailandia	0,02 ³	0,16
Australia	1,00	1,34
Nueva Zelanda	1,01	0,88
Estados Unidos	2,43	2,75
Reino Unido	2,37	2,08
Alemania, Rep. Fed.	2,43	2,66

1. 1990.
2. 1992.
3. 1986.

Fuentes 1981: Informes nacionales (Indonesia, Singapur y Tailandia) y *Australian Science and Innovation Resources Brief* (1994), Departamento de Industria, Ciencia y Tecnología de Australia. Basado en *Main S&T Indicators* (OCDE) N.º 2, 1993 y NSF, *Human Resources for Science and Technology: The Asian Region NSF 93-303* (Washington, D.C. 1993).

Fuentes 1991: S&T Analysis Section, Departamento de Industria, Ciencia y Tecnología, basado en datos de la OCDE y nacionales (base de datos OCDE/STIID, noviembre de 1993), ABS 8122 y 5206 y estimaciones de la S&T Analysis Section.

ciencia de que en la actualidad se precisa un nivel superior de inversión oficial si se quiere estimular la investigación básica necesaria para impulsar el crecimiento industrial y renovar sistemáticamente las instalaciones y equipos obsoletos de las universidades y centros de excelencia.

Si bien Japón sigue siendo el país que más invierte en I+D, la ciencia está ahora menos dominada en la región por la poderosa posición económica de ese país, que en los 80. El crecimiento sostenido de la inversión de muchos países asiáticos, recientemente industrializados, en I+D ha supuesto que su nivel de gastos en I+D (GIBID) por PIB está pasando rápidamente al nivel de inversión de los países de la OCDE. En 1981 las dos economías de mayor crecimiento, Taiwan y la República de Corea, invertían en GIBID mucho menos que el promedio de la OCDE (aproximadamente el 1,38 % del PIB). Sin embargo, durante los 80 registraron un elevado crecimiento anual real: de 24 % y 16 % respectivamente (Gráfico 4), de modo que antes

de 1990 la República de Corea había pasado del 20.º al 10.º lugar y Taiwan del 17.º al 12.º.

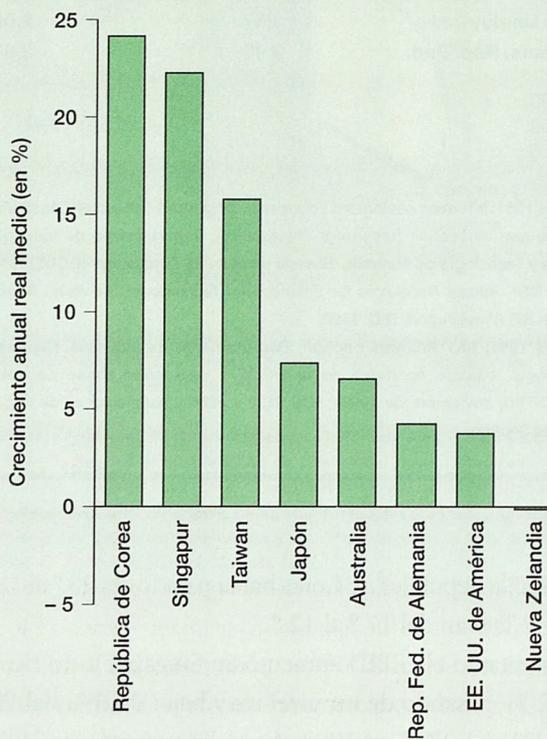
Entretanto el GIBID aumentó en Singapur a un ritmo de 22 %, pasando de un nivel muy bajo: 0,28 % del PIB en 1981, a 1,27 % en 1992. Australia aumentó su GIBID de 1,00 % a 1,34 % y la inversión en I+D se incrementó considerablemente en China, sobre todo en el sector empresarial no oficial, arrojando una proporción GIBID/PIB que, aunque es sólo el cuarto en comparación

con la de Japón, vela su importancia por el cambio radical de denominador, es decir, el enorme nivel de crecimiento del PIB que se produjo paralelamente. Como consecuencia, entre los inversores medianos en I+D, generalmente dominados por Suecia y Suiza, son los países de la región de Asia y el Pacífico los que invierten en I+D a ritmo más acelerado. Por otra parte, aunque la cuantía gastada por investigador en la República de Corea, Taiwan y Singapur es actualmente la mitad de la de los Estados Unidos, la diferencia está disminuyendo con rapidez.

Ya se perciben las repercusiones de esas estrategias centradas en la ciencia. Prueba de esta recuperación son los datos sobre patentes: por ejemplo, como muestra el Cuadro 3, las patentes registradas en los Estados Unidos por la República de Corea aumentaron en un 400 % durante los últimos cuatro años. En 1990 la República de Corea registró en los Estados Unidos la mitad de patentes en comparación con Australia, que ocupó el segundo lugar en la región, después de Japón. En 1994 la República de Corea registraba en los Estados Unidos dos veces más patentes que Australia. Entretanto, Singapur, que en 1983 había comenzado con un número muy escaso, 5, decuplicó con creces su registro correspondiente a 1994 con 54 patentes (CHI, 1995).

Sin embargo, la región no es uniforme en cuanto al nivel de I+D. Como muestra el Cuadro 2, Malasia invierte algo menos que Singapur, pero tiene una proporción relativamente elevada de GIBID/PIB, a saber, 0,80 %. Mientras que los planes de desarrollo de Malasia se orientan cada vez más hacia la industria manufacturera, su base de investigación sigue siendo en gran medida el sector público y sólo últimamente ha empezado a cambiar su orientación hacia el desarrollo agropecuario. En otros países de la ASEAN el nivel de inversión en I+D como proporción del PIB es muy inferior, está dominado en gran parte por el sector público y refleja la «otra» cara de Asia: la condición de países en desarrollo, vigente en la mayoría de la población que habita fuera de las zonas económicas de vanguardia. Más al sur, dentro de Australasia, Nueva Zelanda tiene una proporción GIBID/PIB próxima a la de Malasia: 0,88 %, cifra que en 1981 era de 1,01 %, pero que refleja una nación que ha reestructurado radicalmente su base científica oficial transformándola en «corporaciones reales» financiadas competitivamente, en las que disminuyó temporalmente el número de empleados. En Nueva Zelanda está empezando a aumentar nuevamente el gasto en I+D gracias a su estrategia orientada expresamente a crear sobre su base agropecuaria una capacidad industrial y de exportación. La situación de Indonesia, Filipinas y Tailandia refleja la condición de países menos avanzados industrialmente. Todos invierten en I+D un 0,20 % del PIB.

GRÁFICO 4
CRECIMIENTO ANUAL REAL MEDIO DEL GIBID
BASADO EN PRECIOS CONSTANTES DE 1985,
1981 A 1991 EN ECONOMÍAS ESCOGIDAS



Fuente: S&T Analysis Section, Departamento de Industria, Ciencia y Tecnología, basado en datos nacionales y de la OCDE (base de datos OCDE/STID, noviembre de 1993, ABS 8122 y 5206) y estimaciones de la S&T Analysis Section.

CUADRO 3
PATENTES REGISTRADAS ANUALMENTE EN LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA POR PAÍSES ESCOGIDOS
DE LA CUENCA DEL PACÍFICO

País	1983	1985	1987	1989	1991	1993	1994	1983-1994
Japón	8 804	12 756	16 569	20 177	21 028	20 949	22 384	204 597
República de Corea	26	40	84	160	403	764	950	3 361
Brunei	0	0	0	0	1	0	0	2
Indonesia	0	1	1	5	2	4	8	37
Malasia	2	3	2	2	13	13	12	66
Filipinas	5	5	5	7	6	5	2	52
Singapur	5	9	12	19	15	39	54	213
Tailandia	3	1	1	4	3	7	5	33
Rep. Dem. Pop. Lao	0	0	0	0	0	1	0	3
Australia	237	341	386	501	458	372	470	4 701
Nueva Zelanda	39	33	69	58	40	38	36	566

Fuente: CHI Research, Inc. Haddon Heights, NJ, Estados Unidos de América (1995). Cuadro inédito de patentes contabilizadas, suministrado por el Centre for Research Policy, Universidad de Wollongong.

DESARROLLO DE RECURSOS HUMANOS

Es relativamente escasa la base de recursos humanos en los ámbitos de las ciencias y la ingeniería de que disponen los países menos industrializados al iniciar su carrera hacia el aprovechamiento de la ciencia. Cabe señalar que es muy difícil obtener indicadores coherentes. Tal vez con los mejores datos, el Cuadro 4 determina el nivel de la base endógena de formación en investigación en algunos países asiáticos, con dos indicadores: porcentaje de enseñanza de posgrado respecto de enseñanza terciaria en términos generales y, dentro de ésta, la proporción de enseñanza de posgrado en ciencias e ingeniería respecto de toda la enseñanza de posgrado. El porcentaje relativamente elevado de estudios de licenciatura hasta enseñanza de posgrado, que muestran los datos de Australia y Nueva Zelanda, es producto de los maduros sistemas de educación terciaria que ofrecen ahora una amplia variedad de estudios de maestría, además de la formación tradicional de posgrado. Como era de esperar, se presta la mayor atención a la formación en investigación en los países que han desarro-

llado recientemente una buena base de ciencia y tecnología y atribuyen un alto grado de prioridad a un desarrollo endógeno orientado por la ciencia y la tecnología, como son la República de Corea y Singapur. El Cuadro 5 muestra que esos dos países tienen niveles relativamente elevados de científicos e ingenieros como proporción de su población, y que el nivel de Singapur, que crece con mucha velocidad, es similar al nivel de Australia. Japón sigue estando delante con un nivel equivalente al doble de los de Australia y Singapur. Lo más instructivo es el nivel de concentración dentro de la formación endógena de investigación respecto de ciencias e ingeniería. Se destaca la República Popular de China, en la que el 75 % de los estudiantes de posgrado reciben formación en ciencias e ingeniería. También Japón ocupa un lugar destacado a este respecto ya que prácticamente más de la mitad de los estudiantes de posgrado reciben formación en esas disciplinas. Sin embargo, la concentración proporcional en otros países, incluidos la República de Corea y Singapur, es relativamente baja, a excepción de Filipinas, y gira entre el 20 % y el 25 % del número total de estudiantes de posgrado.

CUADRO 4
ENSEÑANZA DE TERCER CICLO EN PAÍSES ESCOGIDOS DE LA CUENCA DEL PACÍFICO

País	Año	Total estudiantes tercer ciclo	Educación universitaria				% graduados del total de estudiantes	Ingenieros científicos y técnicos respecto del total de estudiantes
			Ciencias	Ingeniería	Otros	Total		
Australia	1991	534 538	21 178	5 698	66 027	92 903	17,38	28,93
China	1991	2 124 121	22 806	36 942	20 711	80 459	3,79	74,26
Japón	1989	2 683 035	23 233	30 934	31 096	85 263	3,18	63,53
Rep. de Corea	1991	1 723 886	15 460	13 019	64 120	92 599	5,37	30,76
Malasia	1990	121 412	1 012	239	3 730	4 981	4,10	25,12
Nueva Zelandia	1991	136 332	2 461	402	10 929	13 792	10,12	20,76
Filipinas	1991	1 656 815	4 704	816	58 274	63 794	3,85	8,65
Singapur	1983	35 192	144	388	1 337	1 869	5,31	28,46
Tailandia	1989	765 395	3 523	1 405	16 116	21 044	2,75	23,42

Nota: Según la clasificación de la UNESCO de ingeniería y ciencias: las ciencias abarcan las ciencias naturales, las matemáticas y la informática, las ciencias médicas y las ciencias relacionadas con la salud.

Fuente: *Anuario estadístico*, 1993, París, UNESCO.

CUADRO 5
CIENTÍFICOS E INGENIEROS EN PAÍSES ESCOGIDOS DE LA CUENCA DEL PACÍFICO

País (año)	N.º de científicos e ingenieros por millón de habitantes
Japón (1989)	5 183
República de Corea (1988)	1 343
Indonesia (1988)	181
Malasia (1988)	327
Filipinas (1984)	90
Singapur (1992)	2 305
Tailandia (1991)	107
Australia (1991)	2 449

Fuente: *Anuario estadístico*, 1993, París, UNESCO.

Australia: *Australian Science and Innovation Brief 1994*. Departamento de Industria, Ciencia y Tecnología (DIST). Totales calculados a partir de datos de investigaciones proporcionados al DIST por ABS, junio de 1993.

Singapur: *1992 National Survey of R+D in Singapore*, National Science and Technology Board, Table III.1, pág. 18.

Tailandia: Según el informe sobre el *Study of R+D Expenditures and Personnel in Thailand in 1987-1991*, National Research Council, Ministry of Science, Technology and Environment (MOSTE). Datos recopilados por Science Indicator Section (OSTEPP).

Sin embargo, las cifras sobre formación nacional en investigación sólo muestran una parte de la realidad. En cuanto a los países asiáticos, gran parte de esa formación se completa en universidades de Europa, Australia y América del Norte. Así, en los Estados Unidos se otorga a ciudadanos chinos el 46,1 % de los títulos de doctor en ciencias y el 21,1 % de ingeniería, en comparación con la propia China; los porcentajes equivalentes de doctorado en ciencias e ingeniería para la República de Corea son 42,6 y 44,4 % respectivamente, y para Taiwan 81,1 y 73,6 %. Es de suponer que la situación sea similar para la mayoría de los países de la ASEAN. Por otra parte, Japón depende mucho menos de los títulos de doctorado obtenidos en Estados Unidos; en efecto, éstos representan únicamente el 5,6 % en ciencias y el 1,8 % en ingeniería.

No obstante, lo que llama la atención respecto de los países de la ASEAN es que, si bien el GIBID actual puede ser relativamente bajo, todos han iniciado grandes programas para aumentar su capacidad científica y tecnoló-

gica, en particular invirtiendo en el desarrollo de recursos humanos.

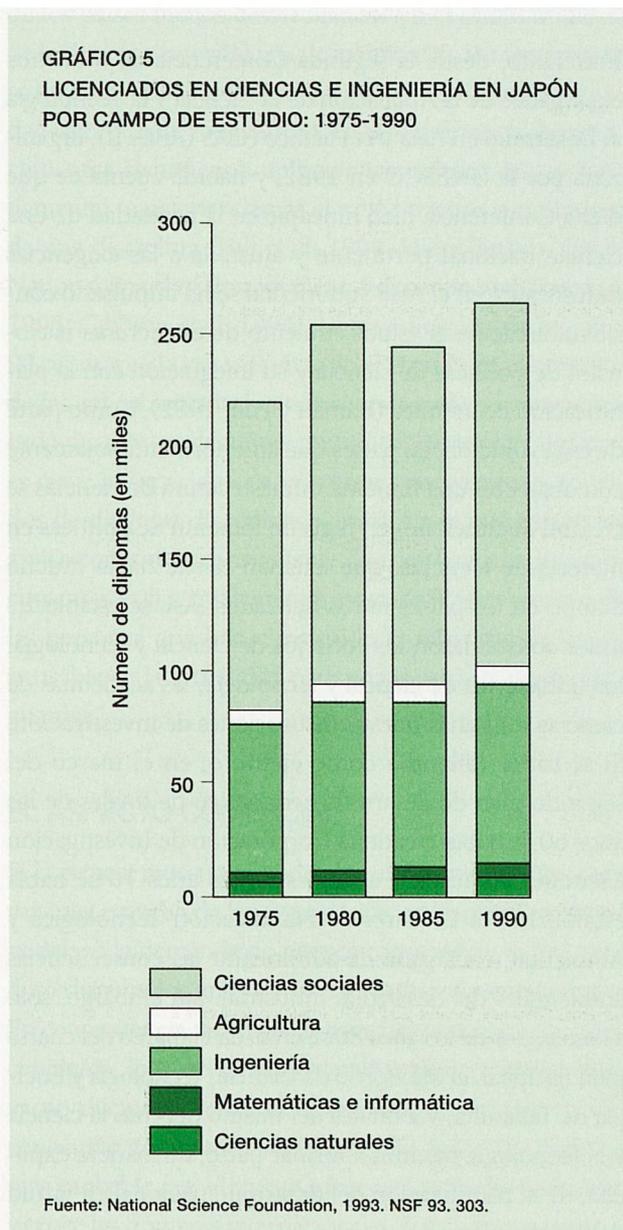
Por ejemplo, en 1980 Singapur tenía nueve investigadores e ingenieros por cada 10.000 trabajadores; en 1990 esa cifra pasó a 28 y aumenta constantemente hacia el objetivo fijado para 1995: 40 investigadores e ingenieros por cada 10.000 trabajadores. Entretanto, el número de investigadores y técnicos pasó entre 1990 y 1992 de 6.046 a 9.193. El crecimiento de Singapur está impulsado actualmente por una importante inversión quinquenal de más de 1.000 millones de dólares, con objeto de fortalecer la investigación y el desarrollo industrial en el marco del Plan Nacional de Desarrollo Tecnológico. Existen programas similares en Indonesia (90 millones de dólares), Malasia (150 millones de dólares) y Tailandia (50 millones de dólares).

El ejemplo de Japón y la República de Corea ha influido considerablemente en estas estrategias de desarrollo de recursos humanos. Como parte de la reconstrucción después de la Segunda Guerra Mundial, Japón realizó actividades concertadas para incrementar el número de titulados en ciencias e ingeniería y duplicar su producto nacional bruto. Gracias a lo que ha invertido durante los últimos tres decenios en recursos humanos de ciencia y tecnología, ese país otorga anualmente 250.000 títulos en ciencias e ingeniería, aunque con una base relativamente pequeña en ciencias naturales (véase el Gráfico 5).

En la actualidad Japón tiene una proporción de 74,9 % (1990) de personal de ciencias e ingeniería en I+D, por cada 10.000 trabajadores, y el 6 % del total de jóvenes de 22 años de edad están matriculados en carreras de ciencias naturales e ingeniería.

La República de Corea está acortando distancias rápidamente. A finales de la Segunda Guerra Mundial sólo el 2 % de la población coreana mayor de 14 años había terminado la enseñanza secundaria y el índice de analfabetismo ascendía al 78 %. Desde entonces la matrícula en la enseñanza primaria se ha quintuplicado con creces, en la enseñanza secundaria ha aumentado 28,5 veces y en la enseñanza terciaria casi 150 veces. La gran inversión de los primeros años en desarrollo de recursos humanos tuvo como consecuencia a corto plazo ciertos problemas de

empleo para las personas con educación, pero sentó una sólida base para el subsiguiente desarrollo económico del país. Basada en esa plataforma, la República de Corea triplicó entre 1975 y 1990 su matrícula universitaria y en 1990 frecuentaba la universidad el 36 % de los jóvenes coreanos de entre 20 y 24 años de edad, con la misma proporción de matrícula que Japón en carreras de ciencias



naturales e ingeniería (el 6 % del total de jóvenes de 22 años de edad). Durante el mismo periodo, el porcentaje de la cohorte equivalente de Taiwan matriculado en universidades aumentó considerablemente: del 16 % al 27 %, mientras que en Singapur pasó de aproximadamente el 7 % a casi el 20 %.

ESTRUCTURAS DE PLANIFICACIÓN Y DECISIÓN

Entretanto, desde la segunda Conferencia de Ministros encargados de la Aplicación de la Ciencia y la Tecnología al Desarrollo en Asia y el Pacífico (CASTASIA II), organizada por la UNESCO en 1982, y habida cuenta de que dicha Conferencia hizo hincapié en la necesidad de una ciencia nacional pertinente y ajustada a las exigencias industriales, en el Asia Sudoriental se ha impulsado considerablemente el establecimiento de estructuras nacionales de políticas de ciencia y su integración con la planificación económica (Raman y Hill, 1982). Como parte de esa evolución, en países que anteriormente solamente contaban con una limitada infraestructura de ciencias se crearon instituciones en regla de fomento de políticas en materia de ciencias, que existían desde hacía mucho tiempo en los países industrializados. Así, se establecieron o consolidaron los consejos de ciencia y tecnología, los ministerios de ciencia y tecnología, las academias de ciencias y algunas nuevas instituciones de investigación. Si se toma Tailandia como ejemplo, en el marco del segundo plan de desarrollo económico de finales de los años 60 se había creado la Corporación de Investigación Científica Aplicada y a finales de los años 70 se había establecido la División de Planificación Tecnológica y Ambiental, encargada de administrar las consecuencias ambientales del desarrollo industrial. Sin embargo, sólo a comienzos de los años 80 se creó, en el marco del cuarto plan nacional, el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Energía de Tailandia, y a finales del mismo decenio la ciencia y la tecnología pasaron a formar parte, de manera explícita, de la planificación del desarrollo nacional en virtud del quinto plan.

Paralelamente se ha procurado aumentar la capacidad de decisión, aspecto éste al que prestó apoyo Australia a mediados de los años 80 con programas de formación en gestión y política de ciencia y tecnología en los países de la ASEAN, mientras que el Consejo de la ASEAN para Ciencia y Tecnología (ASEAN-COST) y la Red Asiática de Políticas de Ciencia y Tecnología (STEPAN), con sede en la UNESCO y fundada en 1988, dio prioridad y prestó apoyo en toda la región a la elaboración de sistemas de información de gestión de la ciencia y la tecnología, así como a la formación.

Asimismo, muchos países, tanto de la ASEAN como del Noreste de Asia, ya han elaborado estrategias de planificación de la ciencia y la tecnología a largo plazo como componente de sus estrategias económicas generales. Malasia, Indonesia, Tailandia, Singapur y la República de Corea han preparado planes de ciencia y tecnología que se proyectan hasta comienzos del siglo XXI. En cuanto a Indonesia, su programa de Ciencia y Tecnología para el Fomento Industrial (STAID) es parte integrante de las actividades oficiales destinadas a transformar una economía predominantemente agropecuaria en una economía industrial. Se presta especial atención al fomento de industrias de vanguardia mediante «industrias estratégicas», especialmente la aeronáutica, además de la energía, las telecomunicaciones, etc. El Plan Básico Industrial de Malasia incorpora un Plan de Acción para el Fomento de la Tecnología Industrial (APITD). Integrado dentro de las ideas del Primer Ministro sobre una «Visión 2020» de Malasia, dicho Plan recibe el apoyo de un reciente programa de Intensificación de la Investigación en Áreas Prioritarias (IRPA) y coloca a ese país en una vía estratégica de desarrollo tecnológico. Singapur se propone alcanzar la condición de país desarrollado antes del año 2000 y en el contexto de sus severas limitaciones de asignación de recursos ha reconocido la necesidad absoluta de la innovación tecnológica y, por ende, del fomento de I+D. Todos estos países aprovechan abiertamente las lecciones no sólo de Japón, sino de la República de Corea, países en los que tanto el apoyo de la infraestructura a largo plazo como sobre todo la I+D basada en la industria han producido

extraordinarios beneficios en cuanto a rendimiento económico competitivo. De hecho, a raíz de ese interés, la República de Corea inició en 1994 en los países de la ASEAN un programa dedicado a prestar asistencia a las políticas de ciencia y tecnología.

Tanto en los países más avanzados como en los países en desarrollo que son miembros de los grupos del Noreste y el Sudeste de Asia, existe un decidido empeño por mantener la iniciativa científica y tecnológica como la fuente universalmente aceptada de desarrollo económico y competitividad.

LA CRECIENTE VINCULACIÓN DE LA CIENCIA DE ASIA CON OCCIDENTE

Como consecuencia de este empeño los científicos asiáticos pueden trabajar cada vez más en Asia con facilidades institucionales y sueldos similares a los de sus homólogos norteamericanos o europeos. Un indicador de este cambio del entorno de la ciencia en Asia es que, si bien sigue creciendo el número de estudiantes que viajan al extranjero, cada vez vuelven más científicos atraídos por mejores sueldos y mejores condiciones de trabajo y de vida. De hecho, muchos científicos, tras haber trabajado largo tiempo en el extranjero, regresan a su país, donde desempeñan un papel destacado en la administración de nuevos institutos bien equipados y aprovechan su experiencia para poner la investigación nacional al mismo nivel que la investigación internacional de vanguardia. Como comenta la revista *Science*, «la fuga de cerebros, lamentada en otro tiempo, se está convirtiendo en un venero de conocimientos de incomparable valor [...] Los imanes que los atraen se encuentran diseminados en toda Asia: deslumbrantes palacios de investigación dotados de los mejores equipos y de generosos presupuestos. Instalaciones como el 1.3 GeV Synchrotron Radiation Research Center (SRRC) de Taiwan, que será una de las fuentes de radiación más poderosas del mundo cuando empiece a funcionar el otoño próximo, y el Instituto de Biología Molecular y Celular (IMCB) de Singapur, que en seis años se ha granjeado una excelente reputación, están haciendo

que los Tigres Asiáticos figuren en el mapa científico del mundo. Las nuevas universidades de investigación de Hong Kong y Corea del Sur, con ingentes presupuestos, atraen a centenares de profesores estadounidenses que se encuentran a mitad de carrera» (Kinoshita, 1993, pág. 348).

El que científicos con experiencia, formados en países industrializados, regresen a Asia, refleja el nuevo compromiso de ese continente –tanto de los «Tigres» como de los países menos desarrollados– en el orden mundial de la ciencia y la tecnología de los años 90. Recientemente se ha demostrado que si se quiere tener éxito en la actividad científica de vanguardia y en la transferencia de conocimientos científicos a aplicaciones industriales, es fundamental transferir además el saber «tácito» o no formal de una disciplina (Hill *et al.* 1994; Hill y Turpin, 1995; National Board of Employment, Education and Training, 1995; Gibbons *et al.* 1994). La investigación de los años 90 se sitúa cada vez más en todo el mundo en el contexto de las aplicaciones industriales y, por ende, se caracteriza cada día más por equipos multidisciplinarios en los que es clave la capacidad de organizar conocimientos tomados de distintas disciplinas y unirlos a lo que exigen las aplicaciones. Por consiguiente, la transferencia de conocimientos está estrechamente asociada al movimiento de las personas que han construido el saber tácito, indispensable en la actualidad para una investigación de vanguardia.

EL ASPECTO COMERCIAL

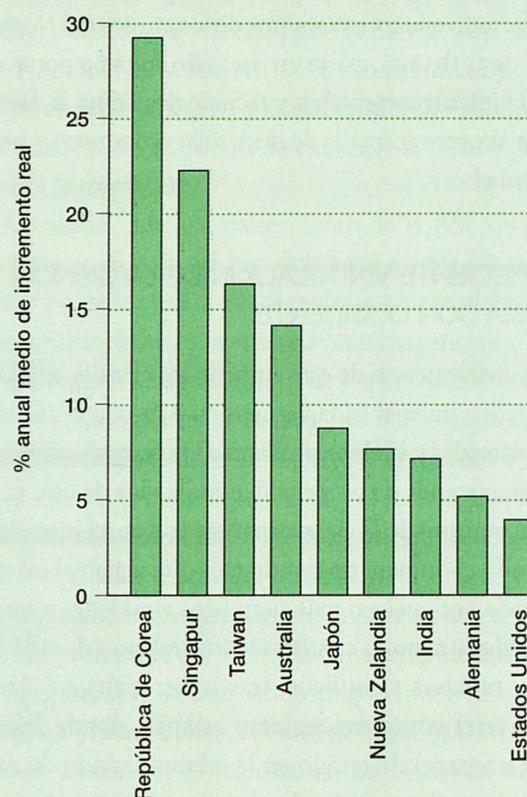
Si la ciencia muestra en todo el mundo una relación cada vez más estrecha de la investigación con sus aplicaciones, se debe a la demanda de nuevos conocimientos que produjo durante los años 80 un mercado muy competitivo. En consecuencia, salvo por la transferencia tácita de conocimientos, los nuevos actores nacionales o empresariales ya no disponen como anteriormente en el siglo XX del conocimiento científico de vanguardia. Por el contrario, es más probable que el nuevo saber esté rodeado de secreto y cruce las fronteras internacionales *dentro de una compa-*

ña en vez de estar disponible como «mancomunidad de resultados científicos accesibles» (Hill, 1995). Los gobiernos de Asia han reconocido las dificultades que surgen para aplicar en la industria la investigación generada por el sector público. En consecuencia, se insiste cada vez más en que se genere I+D *dentro del* sector empresarial y se elaboren nuevos mecanismos que permitan una *utilización* comercial más eficaz de la investigación del sector público.

En efecto, el índice de aumento de la financiación de I+D por el sector empresarial en las economías de Asia y el Pacífico ha ascendido, en términos generales, a un ritmo más acelerado que en los países de la OCDE. Así, la República de Corea, Singapur, Taiwan y Australia superan entre 1981 y 1991 a todos los países de la OCDE respecto del aumento de la financiación de I+D por el sector empresarial (véase Gráfico 6). Si bien el nivel básico de financiación del sector empresarial en el Reino Unido, Japón, Estados Unidos y Alemania es elevado (60 % del GIBID en el caso de Japón), esos países registraron en contraste durante ese mismo periodo un aumento de la financiación del sector empresarial inferior al promedio (9,2 % anual). Hasta 1992 el sector privado de Singapur contribuyó al gasto nacional en I+D con el 60,8 %, o sea, 578 millones de dólares de Singapur (aproximadamente 350 millones de dólares de Estados Unidos).

Las economías desarrolladas siguen teniendo dificultades para generar fondos empresariales para I+D y estudian numerosas medidas destinadas a prestar asistencia, por ejemplo, incentivos fiscales, creación de «parques» de ciencia y tecnología y de «semilleros empresariales», además de una mayor presión a fin de que la investigación del sector público resulte un estímulo comercial directo para la industria. Si bien gozan de la condición económica de países avanzados, Australia y Nueva Zelandia desempeñan un papel relativamente modesto en el mundo tecnológico y han tenido dificultades para generar aplicaciones comerciales en consonancia con el gasto en I+D. Nueva Zelandia reestructuró radicalmente la investigación del sector público, convirtiendo los antiguos organismos oficiales en «corporaciones reales» que en la actualidad compiten entre sí y con la empresa privada a fin de encontrar financiación

GRÁFICO 6
CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL DE ECONOMÍAS
NACIONALES ESCOGIDAS EN FUNCIÓN DEL
INCREMENTO DE LAS INVERSIONES DEL SECTOR
PRIVADO EN I+D ENTRE 1981 Y 1991



Fuente: *Measures of Science and Innovation 4*, 1994, Cuadro 3.4, Departamento de Industria, Ciencia y Tecnología (DIST), Australia. Los datos internacionales básicos provienen de *Main Science and Technology Indicators*, OCDE, París, 1993, N.º 2 y NSF 93-303, National Science Foundation, Washington, 1993.

«licitada» para investigación. En cuanto a su investigación oficial, Australia adoptó como norma general que el 30 % de la financiación proviniera de ganancias externas, independientes de las asignaciones oficiales y, lo que tal vez sea aún más importante, estableció una nueva organización experimental con los «Centros de Investigación Asociada», de los cuales existen unos 60. Esos Centros reúnen intereses académicos, oficiales e industriales en nuevas estruc-

turas institucionales orientadas por las áreas clave de la investigación en Australia.

DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Por otra parte, la atención cada vez más generalizada que se presta en toda la región a la circulación internacional del conocimiento y a las aplicaciones comerciales ha impulsado muy rápidamente la armonización de la legislación relativa a la propiedad intelectual. Si bien desde hace algún tiempo han sido evidentes las ventajas que pueden obtener de una legislación armonizada, los interlocutores industriales avanzados, también los países de la región que se están recuperando, han reconocido que al alinearse con la legislación reconocida internacionalmente en cuanto a propiedad intelectual crean un clima más atractivo para una posible inversión externa, tanto de tecnología como de capital. En consecuencia, aunque países como Malasia, Filipinas, Tailandia e Indonesia continúan siendo marginales como generadores de tecnología si se considera su número de patentes internacionales, siguen la tendencia regional a armonizar la legislación sobre patentes, derechos de autor, concepción y marcas comerciales. Algunos países como China han adoptado un marco legal como parte de una importante reforma de todo el sistema jurídico, unida a la reestructuración económica radical del país. Los países más industrializados de la región ya han adoptado una legislación sobre tecnologías específicas, como las relativas a la generación de distintas variedades de plantas o circuitos integrados. Es prioritario para el foro económico de Asia y el Pacífico proseguir esa armonización.

INTERNACIONALIZACIÓN Y COOPERACIÓN

Para captar la circulación de los conocimientos que representa una economía cada vez más globalizada del saber, muchas de las naciones asiáticas prestan cada vez más atención a internacionalizar su capacidad de I+D, obteniendo en esa forma acceso a conocimientos que de lo contrario atraviesan las fronteras nacionales tras los espesos muros de las empresas multinacionales. Dicha internacionaliza-

ción se lleva a cabo de múltiples maneras. La internacionalización de las actividades de Japón en cuanto a I+D ha estado unida a la creación de importantes centros de I+D en los países occidentales, por ejemplo, Canon en Francia, Hitachi en California, Kobe Steel en el Reino Unido, Kyôcera en Washington, Matsushita Electric en Frankfurt y San José, Mitsubishi Electric en Boston, NEC en Princeton, Nissan en Detroit y Bedford, y Sharp en Oxford. Al mismo tiempo, aunque cada vez más vinculada a las publicaciones científicas internacionales, la base nacional empresarial de investigación de Japón sigue dependiendo de la I+D de ese país más que de la de cualquier otro. Esto se debe en parte al idioma y la distancia geográfica, pero especialmente a la gran importancia de las redes locales de investigación dentro del contexto cultural japonés (Hicks *et al.*, 1994). Por otra parte, desde hace algún tiempo Japón está procurando internacionalizar su población universitaria: en 1983 el Primer Ministro Nakasone Yasuhiro prometió que para el año 2000 el país acogería anualmente a 100.000 estudiantes extranjeros. La cifra ha venido aumentando rápidamente: 48.561 estudiantes extranjeros en 1992, lo que representa cuatro veces más que en 1982, de los cuales casi el 30 % seguían carreras de ciencias, ingeniería o medicina (Normile, 1993).

Por lo que atañe a la República de Corea, las mayores dificultades actuales se refieren a graves problemas de crecimiento. Hasta ahora el país se había servido de tecnologías importadas para generar un rápido crecimiento industrial. Sin embargo, conforme va disminuyendo la diferencia entre la República de Corea y los países plenamente industrializados, se hace más difícil avanzar con tecnologías importadas. Al mismo tiempo, los conocimientos necesarios en ciencias e ingeniería siguen controlados en gran parte por empresas multinacionales y no son accesibles con facilidad. Ante esta situación la República de Corea ha iniciado un programa de empresas cooperativas nacionales e internacionales de I+D con objeto de vincular eficazmente los intereses académicos a los comerciales y ampliar esas redes al campo internacional. Hace poco empezó a aplicarse la Ley de 1993 sobre fomento de I+D cooperativos, con miras a impulsar esa colaboración. También se

procura utilizar esas incipientes actividades cooperativas para impartir formación al personal especializado en ciencias. En 1994, 11 institutos de investigación y 13 universidades estaban participando en programas conjuntos de posgrado de investigación industrial y académica, dedicados específicamente a formar al futuro personal de I+D.

Entrar en el ruedo de la internacionalización supone contribuir a un nivel que sea valorado por los interlocutores que colaboran internacionalmente. Por esta razón siguen estando en desventaja los países menos desarrollados de Asia. Como rasero de la participación internacional de una comunidad científica nacional puede tomarse el nivel de publicaciones, y hay que reconocer que la prestación de los países de la ASEAN en cuanto a la literatura internacional es limitada. Como indicador, el número de artículos de investigación registrados de 1983 a 1986 por el servicio de citas del Instituto de Información Científica (ISI) para todos los campos de la ciencia fue el siguiente: Indonesia, 373; Malasia, 810; Tailandia, 1.062, y Singapur, 1.190. En Indonesia y Tailandia hubo una estrecha asociación entre la publicación internacional y la colaboración extranjera, pero sólo un nivel relativamente bajo de colaboración a nivel nacional (al igual que en Malasia), lo que supone deficiencias dentro de las propias concentraciones nacionales de ciencia y tecnología. Aunque la publicación en revistas internacionales es sólo un indicador muy parcial de la capacidad nacional que puede ponerse sobre el tapete en la ciencia y la tecnología de nivel internacional (sobre todo en países como Indonesia y Tailandia en los que el idioma es una barrera), dicho indicador sigue siendo válido como medida de participación *internacional*. Es interesante un rasgo de la distribución de los distintos campos en las publicaciones internacionales de los científicos de los países de la ASEAN: en Malasia, Tailandia e Indonesia la mayoría de los artículos se refieren a medicina clínica y biología, mientras que hubo una actividad relativamente limitada en cuanto a ingeniería y tecnología. Esto contrasta sobremedida con los tipos de publicación de países recientemente industrializados, como Singapur y la República de Corea, en los que las publicaciones sobre ingeniería y tecnología fueron mucho más importantes y estaban aumentando a un ritmo

mucho mayor que en biología. Estas distinciones reflejan la forma como varía la vinculación de la comunidad científica de un país a la industria manufacturera. Cabe señalar, sin embargo, que el conjunto de los indicadores bibliométricos eclipsan excelentes centros de investigación que están empezando a aparecer respecto de áreas específicas en *todas* las naciones de la región, en torno a científicos clave.

Pese a estas variaciones de capacidad nacional, la cooperación internacional suele considerarse en Asia un medio para superar el relativo aislamiento del cauce científico principal que muestran esas cifras de publicaciones. No obstante, la mayoría de los investigadores del Noreste y el Sudeste de Asia siguen estableciendo esas relaciones de cooperación sobre todo con científicos e instituciones de los países más industrializados de Europa y con los Estados Unidos, y no con otras naciones de Asia. Esas relaciones corresponden en parte a las establecidas durante los años de estudio.

Sin embargo, empiezan a aparecer signos de cambio, parte como resultado de los vínculos personales establecidos por los estudiantes asiáticos mientras estuvieron en los Estados Unidos o en Europa, parte a raíz del mejoramiento de la infraestructura científica y la misión en el respectivo país. Por ejemplo, una asociación establecida en 1983 para consolidar las relaciones entre científicos chino-estadounidenses y sus homólogos de la región, la Sociedad de Biólogos Chinos en Estados Unidos (SCBA), está extendiéndose cada vez más en el Pacífico y celebró sus reuniones en Hong Kong en 1990 y en Singapur en 1992. Muchos de los investigadores regresan de los Estados Unidos a Taiwan, Singapur y Hong Kong, atraídos por mejores oportunidades de trabajo, y mantienen sus redes panasiáticas desde sus nuevos cargos (Kinoshita, 1993; Stone, 1993).

CONCLUSIONES: EL FUTURO ASPECTO DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA EN LA REGIÓN

Los países del Asia Oriental y Sudoriental y Australasia participan cada vez más en el comercio orientado hacia Asia al tiempo que, en el marco de la APEC, están comenzando a cooperar en un programa común encaminado a

liberalizar los intercambios y armonizar las normas y la legislación relativa a los derechos de propiedad intelectual. En consecuencia, en estos países la atención se centra cada vez más en su dimensión regional y en modelos endógenos con miras al desarrollo. Las capacidades en ciencia y tecnología se perciben generalmente en la región como la fuerza motora que impulsa la competitividad económica nacional. El resultado es que en todos estos países asiáticos se considera altamente prioritario efectuar importantes inversiones en el desarrollo de recursos humanos en ciencia y tecnología y mejorar la gestión de estos recursos científicos y tecnológicos nacionales para hacer progresar la ciencia de las naciones hacia aplicaciones comerciales efectivas. Anteriormente, los países menos adelantados consideraban que los Estados Unidos de América y Alemania eran los modelos del éxito. En la actualidad los países menos adelantados de Asia Oriental y Sudoriental prestan mayor atención a las demás economías asiáticas cuyo crecimiento es mucho más veloz que el de los países de la OCDE e invierten considerablemente más en la ciencia: además de Japón, se trata de la República de Corea, Taiwán y Singapur. Por consiguiente, en los años 90 estos países comenzaron a coligarse cada vez más en torno a una identidad económica regional en la que la ciencia es un rasgo fundamental de la estrategia de desarrollo. Aunque expresada de distintas maneras en los diferentes países, existe una tendencia *general* a orientar el sector científico público hacia el mercado, y a prever el crecimiento y la aplicación futuros de la ciencia y la tecnología en el sector empresarial. Asimismo, el conjunto de los países de la región están invirtiendo en la ciencia y la tecnología y planificándolas a largo plazo.

En este contexto, empero, la manera en que se pone en práctica la prioridad asignada a la ciencia y la tecnología varía en cada situación nacional.

Indonesia, por ejemplo, aún se encuentra en una fase relativamente preliminar de la transformación tecnológica de la economía. Cerca del 75 % de la producción manufacturera total corresponde a industrias caracterizadas por productos de bajo nivel tecnológico. En consecuencia, se concede prioridad al apoyo a las industrias en pequeña

escala y al sector informal. Sin embargo, paralelamente, el desarrollo de capacidades tecnológicas elaboradas en industrias «estratégicas» como la aeronáutica, la energía y la electrónica, es una estrategia fuertemente respaldada como medio para «sacar» la economía de su condición de país en desarrollo. Dos problemas fundamentales se plantean en relación con las políticas científicas nacionales. El primero consiste en remediar la escasez de ingenieros y científicos calificados, en especial con diplomas superiores. Mediante una financiación obtenida con un empréstito internacional, Indonesia ha establecido el programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Industrial a fin de aumentar los recursos científicos y tecnológicos para preparar el «despegue» industrial durante el sexto Plan Quinquenal del país que llevará a Indonesia hasta el próximo siglo. El segundo problema esencial para Indonesia atañe a la escasa participación de la industria en la I+D. Actualmente, solamente el 30 % del gasto nacional en I+D corresponde al sector privado. Las políticas a largo plazo del país apuntan a elevar esa proporción al 70 %.

Filipinas y Tailandia comparten las preocupaciones políticas de Indonesia en materia de desarrollo de los recursos humanos en ciencia y tecnología.

El éxodo de competencias es relativamente bajo en Indonesia, ya que los graduados capacitados en el extranjero tienden a regresar al país. En **Filipinas**, donde la cultura es más occidentalizada debido a la anterior influencia estadounidense y donde los índices de alfabetización son muy elevados, el éxodo de competencias constituye un problema grave. En este contexto, se ha establecido en Filipinas un Proyecto de Enseñanza de la Ingeniería y la Ciencia a fin de capacitar a unos 3.000 científicos e ingenieros más para el año 1998. En el marco del Plan General de Ciencia y Tecnología de Filipinas, la importancia otorgada al desarrollo de los recursos humanos se completa con el fomento de una cultura científica y tecnológica destinada a reforzar las infraestructuras en este ámbito y aumentar las capacidades de I+D en sectores prioritarios, pero *vinculando* al mismo tiempo el desarrollo científico y tecnológico endógeno con la industria y las políticas de transferencia de tecnología, y modernizando los sectores

productivos mediante transferencias masivas de tecnología de fuentes nacionales y extranjeras. Por consiguiente, se ha prestado especial atención a la elaboración de medidas legislativas apropiadas para fomentar la circulación internacional de conocimientos tecnológicos.

En **Tailandia**, el Gobierno es consciente de que difícilmente se podrá mantener el elevado crecimiento de los años 80 si no se incrementan considerablemente las competencias técnicas nacionales en todos los niveles –desde los técnicos fabriles hasta los investigadores científicos más adelantados. Por consiguiente, se otorga la máxima prioridad al desarrollo de los recursos humanos a fin de proporcionar a la industria el apoyo técnico que necesita para captar los flujos internacionales de capitales técnicos y económicos. Entretanto, la industria ha contribuido considerablemente al aumento de la capacidad nacional de I+D de Tailandia entre 1986 y 1991, aportando *la mayor parte* del aumento del Gasto Interno Bruto en I+D (GIBID) como proporción del PIB de 0,02 % a 0,15 %. La política gubernamental hace ahora mayor hincapié en las transferencias de tecnologías y el fomento de la tecnología endógena más que en la I+D en sí. Tailandia concede una elevada prioridad a un mayor estímulo del crecimiento de la participación del sector privado en la I+D, así como en la expansión de la colaboración internacional en ciencia y tecnología a fin de fortalecer las capacidades nacionales. Un rasgo particular de la planificación de Tailandia para los años 90 es que, por primera vez, se hace hincapié en sectores industriales concretos considerados como los más cruciales para el futuro desarrollo del país. Se otorga un importante respaldo a las tecnologías genéricas –microelectrónica, tecnología de la información y biotecnología.

Malasia cuenta con una base institucional pública bien establecida de investigación, aunque orientada principalmente hacia la agricultura, legado de la antigua administración colonial británica. La tarea de Malasia en materia de investigación consiste en crear los recursos requeridos para sustentar la visión nacional a largo plazo «2020» de país industrial. Ya se pueden observar señales de estos cambios. El instituto de investigación sobre electrónica MIMOS está comenzando a influir en el desarrollo de una indus-

tria nacional de electrónica, principalmente mediante la incorporación de personal altamente calificado en la industria; el Parque Tecnológico de Malasia, en las afueras de Kuala Lumpur, atrae considerables inversiones internacionales relacionadas con la tecnología, y el sistema de subsidios IRPA comienza a añadir una perspectiva industrial a la investigación de avanzada existente. Malasia otorga ahora especial atención al fortalecimiento de la capacidad institucional que impulsa estas iniciativas y al establecimiento de vínculos entre la industria y el sector público. Se ha decidido que la industria será la fuente del crecimiento futuro de la I+D nacional. Con ese fin, el Primer Ministro creó oficialmente en 1993 el Grupo Malasio Industria-Gobierno para la Alta Tecnología (MIGHT) a fin de explorar las posibilidades de I+D industrial y movilizar las capacidades tecnológicas e industriales.

Mientras que Malasia aún se halla en transición, la República de Corea posee ya una sólida infraestructura científica basada en la industria: la mitad de las aproximadamente mil instituciones de investigación del país se encuentran en la industria privada y la mitad de éstas están muy concentradas en los 10 *chaebol* (conglomerados industriales) más grandes, en particular en las industrias electrónica y química. Esta capacidad se desarrolló en asociación con inversiones destinadas al desarrollo de recursos humanos en los años 60 y 70 y con un fuerte apoyo del desarrollo nacional de las infraestructuras y, por consiguiente, contó con el respaldo de las considerables inversiones en I+D conducidas por la industria en los años 80. A fines del decenio de 1980 el gasto nacional en I+D era 15,5 veces superior a su cuantía de apenas un decenio antes. Sin embargo, el éxito ha conducido a la República de Corea a las fronteras del conocimiento en sus ámbitos tecnológicos comerciales programados, por lo que el recurso tradicional a la adaptación de tecnologías importadas se debe reemplazar ahora por una ciencia más fundamental y visionaria. En consecuencia, la internacionalización de sus bases de I+D es fundamental para la estrategia de la República. La industria coreana está aplicando estrategias de internacionalización similares a las de Japón también al establecer laboratorios en Occidente. Se fomentan

las asociaciones nacionales e internacionales de cooperación en materia de I+D, al igual que una vinculación más efectiva de los intereses académicos y comerciales como requisito previo para ampliar esas relaciones en la esfera internacional.

En la economía de **Taiwan** predominan marcadamente las pequeñas y medianas empresas. El Instituto de Investigación Tecnológica Industrial se estableció en los años 80 para responder a la ausencia de participación de las pequeñas empresas en la investigación y desarrollo. Dentro del Instituto una serie de centros se dedicaron a tecnologías fundamentales para el país a fin de evaluar las tecnologías internacionales, diferenciar aquellas que se han de importar y las que se deben desarrollar en el país, y procurar galvanizar a la industria y crear redes con ese sector. El personal especializado en investigación y desarrollo suele pasar del Instituto a las empresas industriales. Por ejemplo, en el marco de este Instituto, 47 empresas de Taiwan se han unido para elaborar microordenadores portátiles. Gracias en particular al apoyo conjunto de las empresas a la investigación, la inversión global de Taiwan en investigación y desarrollo se ha multiplicado por doce respecto de su importe anterior –pasando de seis a 71 mil millones de nuevos dólares de Taiwan– entre 1978 y 1990. En el reciente Plan de Desarrollo Nacional de Taiwan se prevén 18 mil millones de dólares de los Estados Unidos para financiar la investigación y desarrollo y el desarrollo tecnológico. La estrategia consiste en abandonar la industria de los equipos informáticos y orientarse hacia los soportes lógicos; en consecuencia, se está creando un parque industrial de producción de programas informáticos a fin de acelerar el desarrollo de las industrias nacionales especializadas en este ámbito.

En los últimos años **Singapur** ha contraído importantes compromisos respecto a la innovación científica y tecnológica, reconociendo plenamente la importancia de su capacidad de investigación y desarrollo para la futura supervivencia económica del país. La estructura institucional de la política de ciencia y tecnología progresó considerablemente en 1991 con la creación de la Junta Nacional de Ciencia y Tecnología, dependiente del Ministerio de

Comercio e Industria. Esta Junta ha dado prioridad al desarrollo de institutos de investigación estratégica de elevada calidad –en materia de tecnología de la información, biología celular y molecular y tecnología manufacturera–. El fortalecimiento de la capacidad científica nacional, que ha crecido gracias a las inversiones realizadas por Singapur a fines de los años 80, se ha producido especialmente en el sector privado. El gobierno alienta activamente la expansión de la inversión del sector privado en investigación y desarrollo y la atracción de científicos de avanzada del mundo entero para trabajar en Singapur con miras a la posible generación de ideas novedosas que puedan convertirse en productos y aun en la creación de mercados enteros. Se alienta vigorosamente a las corporaciones multinacionales a instalar sus actividades de mayor valor añadido en Singapur, aun cuando desplacen a otra parte las actividades de producción con uso más intensivo de mano de obra. Paralelamente, también recibe aliento la nueva casta de «tecnoempresarios» (empresarios autóctonos que realizan innovaciones tecnológicas), que comenzó a alcanzar el éxito a fines de los años 80.

Japón sigue siendo la potencia científica y tecnológica dominante en Asia. Sin embargo, es su sector industrial el que ha asumido tradicionalmente el liderazgo en investigación y desarrollo. Las universidades han tendido a cumplir una función relativamente reducida en el sistema nacional de innovación, excepto como seleccionadoras de talentos de elevada calidad y como fuente de vínculos con redes en las comunidades científicas nacional e internacional. Al igual que la República de Corea, Japón debe ahora asumir un papel pautador en la creación de nuevos conocimientos de investigación fundamental. La expansión de la investigación fundamental ya no se considera solamente importante sino urgente. Capitalizando sus actividades de los años 80 en materia de tecnologías básicas para las industrias del futuro, nuevos materiales, la biotecnología y los «nuevos elementos funcionales», así como su inversión de 1986 en el Programa de Investigación de Vanguardia, Japón se centra actualmente en la ciencia para abordar problemas mundiales y en la megaciencia. Actualmente se otorga importancia a un mejoramiento significa-

tivo del apoyo a las infraestructuras y la investigación en el conjunto del sector universitario y a los institutos nacionales de investigación.

Australia y Nueva Zelandia poseen sólidas tradiciones de investigación fundamental, pero han reconocido que dependían en exceso de la financiación del sector público, con lo que no se estimulaba suficientemente la innovación industrial nacional. Nueva Zelandia ha reaccionado con una reestructuración completa de la investigación del sector público para impulsar una mayor competitividad, y ha concedido prioridad a la asignación de sus relativamente escasos recursos a la investigación sobre la manufactura relacionada con la agricultura al tiempo que procuraba establecer vínculos cada vez más estrechos con la industria científica y tecnológica de Asia. Asimismo, Australia fomenta un estrechamiento de las relaciones con Asia en los campos de la ciencia, la tecnología y la industria, haciendo hincapié en el establecimiento de *relaciones de cooperación* en ámbitos importantes de la investigación nacional vinculados al desarrollo y a la escasez de infraestructuras con que tropiezan las naciones asiáticas como consecuencia directa de su rápido crecimiento. En Australia se considera prioritario aumentar la competitividad de la investigación académica y del sector público orientándola hacia aplicaciones comerciales al tiempo que se impulsa la participación de las empresas en la investigación y desarrollo. En consecuencia, la inversión en investigación y desarrollo del sector privado se ha duplicado entre 1984-1985 y 1991-1992, al igual que la financiación por las empresas de la investigación académica, mientras que el apoyo del sector privado a la investigación y desarrollo del sector público en la Organización de la Commonwealth para la Investigación Científica e Industrial (CSIRO) ha aumentado cinco veces para alcanzar el 21,4 % de la financiación total de la CSIRO. Se está prestando particular atención a la creación de *vínculos* dentro del sistema nacional de innovación, por ejemplo mediante programas de creación de redes comerciales de ciencia y tecnología adecuadamente financiadas y el programa del Centro de Investigación Cooperativa que involucra a los sectores académico, público y privado.

Por consiguiente, en esta región la ciencia y la tecnología se presentan como un sector de gran vitalidad, de experimentación y aumento de la confianza en sí mismo, empeñado en obrar por la competitividad económica en el próximo milenio.

Para concluir, empero, cabe reconocer asimismo que los debates relativos a la ciencia y la tecnología en la región están estrechamente asociados a una creciente preocupación por el hecho de que hay un lado oscuro del éxito proporcionado por el rápido crecimiento económico distribuido en el conjunto de los países. El Banco de Desarrollo Asiático calcula para comenzar que, solamente para los países de ASEAN, se necesitará reunir un billón de dólares antes de 2005 a fin de financiar las infraestructuras requeridas para que se mantengan los índices de crecimiento (Bardsley, 1995). Es preciso efectuar elevadas inversiones tanto en los recursos humanos como en las infraestructuras urbanas y de comunicaciones necesarias para sustentar las empresas industriales basadas en la ciencia y la tecnología. Además, no basta con aumentar los recursos técnicamente capacitados en ciencia y tecnología. Una participación lograda en el orden tecnológico mundial que está surgiendo en los años 90 también exige capacidad de innovaciones en términos de organización y nuevas clases de competencias sociales y empresariales. Cada uno de los países de la región, que parten de prácticas culturales y orgánicas muy diversas, debe hacer frente en dichas prácticas a dificultades para captar los flujos internacionales de tecnología y orientar rápidamente la investigación y desarrollo hacia las aplicaciones comerciales. Asimismo, cabe recordar que al margen del resplandor del milagro económico de la región persiste la sombra del subdesarrollo al que deben responder los recursos de ciencia y tecnología. En muchos casos, el cambio tecnológico moderno afecta al conjunto de la economía, de modo que se quebrantan los *vínculos* entre los sectores más tradicionales y el resto de la economía. A menudo el problema consiste en la falta de conformidad de las normas de calidad técnica, y las empresas nacionales de ciencia y tecnología son la única fuente de financiación para reintegrar el pluralismo económico y tecnológico que caracteriza a las economías en

desarrollo. Por último, el desarrollo acelerado ha conllevado con frecuencia la negligencia ambiental. Por consiguiente, es probable que el suministro de agua, el tratamiento de las aguas usadas, la gestión de los desechos sólidos y los servicios sanitarios, por ejemplo, planteen dificultades para responder a las demandas generadas por una industrialización y un desarrollo urbano aún más rápidos. La mayoría de las naciones de la región no poseen capacidades de investigación y desarrollo bien establecidas en el ámbito de la gestión ambiental. Sin embargo, actualmente reconocen ampliamente la necesidad de que existan. La República de Corea, por ejemplo, dedicará durante el presente decenio mil millones de dólares a la elaboración de tecnologías ambientales, y en Singapur la Junta Nacional de Ciencia y Tecnología ha asignado prioridad a la tecnología ambiental.

En consecuencia, una amalgama de las tres perspectivas representadas en la reunión inaugural sobre políticas de ciencia y tecnología en Asia en 1965 se está expresando en las prácticas contemporáneas de ciencia y tecnología en la región. La vía más lograda fue la de la República de Corea, que hoy sirve de modelo permanente para muchas otras naciones de Asia Sudoriental. El rasgo predominante de la política contemporánea de la región es la importancia que se otorga a asegurar una estrecha vinculación del sistema nacional de ciencia y tecnología con los usuarios. No obstante, dada la necesidad de establecer prioridades en la utilización de los escasos recursos de manera eficaz en el marco de una economía mundial altamente competitiva, en términos generales la planificación y la definición de prioridades son elementos fundamentales de la política. Por último, a medida que los nuevos conocimientos se convertían en la característica motora más importante de la nueva industria, la atención también se ha vuelto hacia la generación y captación de investigación fundamental de vanguardia.

Cuando redactó este capítulo **Stephen Hill** era Director de la Fundación del Centro de Políticas de Investigación, creado como centro de investigaciones especializadas o centro de excelencia del Consejo de Investigación de Australia. Ha investigado temas científicos, sociales y de desarrollo en el conjunto de Asia en los últimos 30 años, y ha sido un consultor de muy alto nivel para la mayoría de los gobiernos y las organizaciones internacionales de la región. En 1988 el profesor Hill fundó STEPAN, la Red Asiática de Políticas en materia de Ciencia y Tecnología de la UNESCO, así como el programa y la red de recursos humanos y tecnología industrial del Foro de Cooperación Económica en Asia y el Pacífico en 1991. En junio de 1995 fue designado Director de la Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la UNESCO para Asia Sudoriental, Yakarta.

Cuando redactó este capítulo, el Profesor Asociado **Tim Turpin** era Director Adjunto (actualmente Director) e Investigador Asociado Principal del Centro de Políticas de Investigación de la Universidad de Wollongong. Capacitado en antropología, posee experiencia política gubernamental de alto nivel y fue Director de Investigaciones, Director Departamental y Asesor Político Principal del Gobierno del Estado de Victoria de Australia. Sus intereses en materia de investigación y sus publicaciones se centran en las transformaciones culturales y orgánicas. Actualmente el Prof. Turpin colabora estrechamente con la República Popular China en la reforma institucional de la ciencia y la tecnología y la comercialización de la investigación.

La Dra. **Heather Spence** es Investigadora Asociada en el Centro de Políticas de Investigación de la Universidad de Wollongong, y es actualmente administradora de programa de la Red Asiática de Políticas en materia de Ciencia y Tecnología (STEPAN). En los últimos veinte años la Dra. Spence ha adquirido una gran experiencia de terreno en varios países de Asia, en especial Viet Nam, Malasia, Tailandia y China. Posee una amplia experiencia en la concepción y el mantenimiento de sistemas de gestión de la información y en administración de programas.

BIBLIOGRAFÍA

- ASCA (Asociación de Cooperación Científica en Asia) (1994), Actas de la 13.ª reunión de ASCA, 14-17 de noviembre, Manila, Filipinas.
- Australia (1993-94), *Science and Technology Budget Statement 1993-94*, Canberra, Australian Government Publishing Service.
- Australia (1994-95), *Science and Technology Budget Statement 1994-95*, Canberra, Australian Government Publishing Service.
- Banco Asiático de Desarrollo (1993), *Asian Development Outlook 1993*, Oxford, Oxford University Press.
- Banco Mundial (1994), *World Tables 1994*, Baltimore, Johns Hopkins University Press.
- Bardsley, A. (1995), *Bond market developments in ASEAN countries*, Publicación de la red electrónica de Southeast Asia Discussion List (SEASIA), 16 de marzo de 1995.
- BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi) (1993), *Science and Technology Indicators of Indonesia* (1.ª edición), Yakarta, BPPT, págs. 85-91, pág. 156.
- Choi, Hyung Sup (1986), *Technology development in developing countries*, Asian Productivity Organization, Tokio, págs. 22-23.
- DIST (Departamento de Industria, Ciencia y Tecnología) (1994), *Australian Science and Innovation Resources Brief, 1994*, Canberra, Australian Government Publishing Service.
- East Asia Analytical Unit (1992), *Australia's business challenge, South-East Asia in the 1990s*, Canberra, Departamento de Relaciones Exteriores y Austrade.
- Edwards, F. (1992), *Research and development spending: a comparison between New Zealand and other OECD countries*, Wellington, Nueva Zelanda, Ministerio de Investigación, Ciencia y Tecnología, Informe N.º 5.
- Gibbons, M., Limoges, C., Nowotny, H., Schwartzman, S., Scott, P., y Trow, M. (1994), *The new production of knowledge - The dynamics of science and research in contemporary societies*, Londres, Sage.
- Hicks, D., Ishizuka, T., Keen, P. y Sweet, S., (1994), Japanese corporations, scientific research and globalization, *Research Policy*, 23, págs. 375-384.
- Hill, S. (1991), Building platforms for successful cooperative research and development within the Asia-Pacific region, en Minden, K. (dir. publ.), *Pacific cooperation in science and technology*, Hawai, East-West Center, International Relations Program, págs. 143-153.
- (1992), Science and technology: keys to Asian renaissance of the 1990s?, en Hill, S., y Liyanage, S. (dir. publ.), *Proceedings of the Meeting of the Science and Technology Policy Asian Network (STEPAN)*, Pattaya, Tailandia, agosto de 1990, Wollongong, Centre for Research Policy.

- (1994), Confronting the eleven myths of research commercialization, Actas del Seminario Internacional 1994 de STEPAN (Red Asiática de Políticas en materia de Ciencia y Tecnología), *Maximising National and Regional Benefits from Public Investments in Research, Science and Technology*, Wellington, Nueva Zelanda, Departamento de Investigación, Ciencia y Tecnología.
- (1995), Regional empowerment in the new global science and technology order, en National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP), Japón, *Regional Management of Science and Technology*, Proceedings of the International Workshop on Regional Science and Technology Policy Research (RESTPOR), Tokio, NISTEP.
- Hill, S., Marsh, A., Merson, J. y Siregar, F. (1994), *Science and technology: Partnership in development*, en Department of Foreign Affairs and Trade (East Asian Analytical Unit), *Expanding Horizons: Australia and Indonesia into the 21st Century: Future Economic Relations*, Australian Government Publishing Service. Canberra, págs. 231-261.
- Hill, S. y Turpin, T. (1995), Cultures in collision: the emergence of a new localism in academic research, en Strathern, M. (1995) (dir. publ.), *The uses of knowledge: global and local relations. The reshaping of anthropology, Volume 1 - Shifting contexts*, Londres, Routledge.
- Holloway, N., Rowley, A., Islam, S. y Vatikiotus, M. (1991). East Asian trade grouping at top of region's agenda an insurance policy, *For Eastern Economic Review*, 25 de julio.
- Kim, L. y Dahman, C.J. (1992), Technology policy for industrialization: An integrative framework and Korea's experience, *Research Policy*, 21, págs. 437-452.
- Kinoshita, J. (dir. publ.) (1993), Asia puts its stamp on science, *Science* 262, págs. 348-367.
- Malasia, Ministerio de Ciencias (1990), *Industrial Technology Development: A National Plan of Action*, A Report of the Council for the Coordination and Transfer of Industrial Technology Ministry of Science, Technology and the Environment, Kuala Lumpur, Malasia.
- Malasia, National Council for Scientific Research and Development (1993), *Annual Report 1993*, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Kuala Lumpur, Malasia.
- National Board of Employment, Education and Training (1995), *Using basic research: assessing connections between basic research and national socio-economic objectives: review of current theory and international practices*, informe del Consejo preparado por el Centre for Research Policy Wollongong, Canberra, Australian Government Publishing Service.
- National Science and Technology Board (NSTB) (1994), *Annual Report, 1993-94*, Singapur, NSTB.
- National Science Foundation (1993), *Human resources for science and technology: the asian region*, Surveys of Science Resources Series, Special Report, NSF 93-303, Washington, D.C., National Science Foundation.
- Nit, C. (1994), Science and technology development for industrial competitiveness in Thailand: problems and lessons in Science and Technology Policy Institute (STEP), *S&T Policy for Industrial Competitiveness and Korea-ASEAN Cooperation*, Proceedings of the First Korea-ASEAN Workshop, Seúl, Corea, abril, Seúl, STEP.

* Las referencias relativas a importantes reuniones internacionales como las de STEPAN, ASCA, STEP y NISTEP contienen informes nacionales que versan sobre los distintos hechos y temas tratados en este capítulo.

- Normile, D. (1993), Japanese universities become magnets for Asian students, *Science*, 262, 15 de octubre, pág. 351.
- OCDE (1992), *Main Science and Technology Indicators*, Nº 1, 1992, París, OCDE.
- (1992), *Science and Technology Policy - Review and Outlook, 1994*, París, OCDE.
- Okamura, S., Sakauchi, F. y Nonaka, I. (dir. publ.) (1993), *New Perspectives on Global Science and Technology Policy*, NISTEP, Proceedings of the Third International Conference on Science and Technology Policy Research, Tokio, MITA Press.
- Pavitt, K. (1992), Internationalisation of technological innovation, *Science and Public Policy*, 19, págs. 119-123.
- PECC (Pacific Economic Cooperation Council) (1994), Science and Technology Task Force, *Pacific Science and Technology Profile (Third Issue)*, Singapur.
- Prime Minister's Science and Engineering Council (1992), *Australian Science and Technology Opportunities and Strategies in the Asia Pacific Region*, Canberra, Australian Government Publishing Service.
- Raman, A. y Hill, S. (1982), *Science, technology and development in Asia and the Pacific*, II Conferencia CASTASIA, Manila, Documento SC.82/CASTASIA II/Ref.1, París, UNESCO.
- Singapore National Science and Technology Board (1993), *1992 National Survey of RyD in Singapore*, Singapur, NSTB.
- STEPAN (Red Asiática de Políticas en materia de Ciencia y Tecnología) (1992), *Commercialisation of Research Systems' and S&T Management Information Systems: Development and Application Issues*, Proceedings of Regional Meeting, 9-10 de diciembre, Hanoi, Viet Nam.
- (1993), *Managing Information for Commercialization of Research*, Proceedings of Regional Meeting, 6-8 de septiembre, Manila, Filipinas.
- (1994), *Maximising National and Regional Benefits for Public Investments in Research, Science and Technology*, Proceedings of Regional Meeting, 18-21 de octubre, 1994, Wellington, Nueva Zelanda.
- STEPI (Science and Technology Policy Institute) (1994), *S&T Policy for Industrial Competitiveness and Korea-ASEAN Cooperation*, Proceedings of the First Korea-ASEAN Workshop, abril, Seúl, Corea, STEPI.
- (1994), *Review of Science and Technology Policy for Industrial Competitiveness in Korea*, ASEAN-ROK Cooperation, Project, Seúl, Corea, Science and Technology Policy Institute.
- Stone, R. (1993), The China-America connection, *Science*, 262, 15 de octubre, pág. 350.
- Thailand National Science and Technology Development Agency, (1992), *Strategic Plan 1992-1996*, Bangkok.
- UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development) (1990), *Trade and Development Report 1990: 92-3*, Nueva York, Naciones Unidas.
- UNESCO (1993), *The management of science and technology in transition economies*, Science Policy Studies and Documents, Nº 74, París, UNESCO.
- (1993), *Anuario Estadístico, 1993*, París, UNESCO.
- Yeo, K.T. (1995), Technology strategy and dynamics in national economic development - the case of Singapore, in National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP), Japón, *Regional Management of Science and Technology*, Proceedings of the International Workshop on Regional Science and Technology Policy Research (RESTPOR), Tokio, NISTEP.

China

ZHOU GUANGZHAO

China estuvo en la vanguardia de la ciencia y la tecnología durante más de mil años y aportó extraordinarias contribuciones a la civilización humana. A este país se deben importantes logros en las esferas de las matemáticas, la geografía, la astronomía y la medicina, así como de la fundición, la cerámica, la arquitectura y la agricultura. Los cuatro grandes inventos de la brújula magnética, la fabricación del papel, la pólvora y la imprenta que la nación china ofreció al mundo fueron progresos tecnológicos que han ejercido una enorme influencia en el progreso histórico de la humanidad.

Es interesante señalar que estos ejemplos no sólo reflejan y representan los más altos niveles y logros de la antigua tecnología china sino que además revelan las importantes características distintivas de su estructura tecnológica tradicional y su conexión correspondiente con la antigua estructura social del país. La estructura tecnológica de una sociedad depende de la estructura social y de sus exigencias en materia de tecnología. Habida cuenta de que el sistema de poder centralizado constituyó la característica predominante de la sociedad feudal china, las tecnologías que eran útiles para ese sistema, como las de comunicaciones, transportes, desarrollo del calendario astronómico, etc., conocieron un rápido desarrollo. No obstante, estas tecnologías, aunque alcanzaron niveles relativamente elevados, durante mucho tiempo estuvieron limitadas a las transacciones individuales, por lo que no pudieron producir una influencia revolucionaria en otros sectores o relaciones de la sociedad. Además, esas tecnologías eran inseparables de los que las dominaban y se transmitían de padres a hijos, del maestro al aprendiz, o, simplemente, estaban monopolizadas por el gobierno. En todos los sectores hay ejemplos de tecnologías perdidas y de su reinención posterior. Lo que merece la pena señalar es que el desarrollo de las tecnologías chinas tradicionales estuvo estrechamente relacionado con la estabilidad de las dinastías feudales y se vio seriamente afectado por la desaparición de esas dinastías, lo que supuso un grave obstáculo para la acumulación de conocimientos y la transferencia de tecnología.

Si bien el florecimiento de la antigua tecnología china estuvo condicionado por las estructuras políticas y eco-

nómicas de la sociedad de la época, el desarrollo de la teoría y los experimentos científicos en la antigua China estuvo determinado principalmente por la estructura cultural tradicional. Sabido es que todas las teorías científicas antiguas se basan en gran medida en actitudes filosóficas. Desde la dinastía Qin se formó en China una estructura ideológica en la que la teoría de Confucio constituía la ortodoxia y la teoría taoísta la completaba. En su aspecto positivo, la filosofía de Confucio y su estructura cognitiva hicieron posible que las antiguas teorías científicas se basasen en gran medida en la experiencia directa y la impresión audiovisual, con especial hincapié en la ciencia social de la gobernanación (desde luego, no faltaban ni la imaginación ni los razonamientos de talento). Además, aunque las diferentes escuelas de pensamiento interpretaron de forma distinta la naturaleza de la integración del cielo y el ser humano, su formación se pareció a la de la ciencia contemporánea, que evolucionó gradualmente hasta centrarse en la observación de la naturaleza después de tres siglos de dominio de un enfoque mecanicista.

En general, aunque el desarrollo de la ciencia y la tecnología en la antigua China tenía una larga historia y una espléndida cultura antes del siglo XV, después de esa fecha quedó a la zaga del desarrollo mundial. Todavía no se sabe exactamente por qué se llegó a esta situación. Desde el punto de vista cultural, los antiguos eruditos chinos solían considerar los sistemas complejos como un todo dialéctico y nunca se interesaron en analizar sus partes para descubrir su estructura interna y su mecanismo fundamental. No se desarrollaron de forma sistemática la lógica y las matemáticas y no se constituyó ninguna escuela académica de ciencias naturales. Al mismo tiempo, la baja consideración otorgada a los técnicos y los comerciantes obstaculizó gravemente el aumento de la productividad y el desarrollo de la ciencia y la tecnología contemporáneas. Asimismo, el duradero estancamiento de la infraestructura básica de la sociedad feudal y el carácter conservador y atrasado del imperio tradicional hicieron que China quedara aislada del mundo exterior y fuera a la zaga de los países occidentales en materia de ciencia y tecnología desde el siglo XVI.

El desarrollo de la ciencia y la tecnología contemporáneas de China puede remontarse a finales del siglo XIX y principios del XX, cuando las continuas invasiones demostraron la debilidad y los defectos del reino central. China empezó a enviar a los países extranjeros a gran número de estudiantes que al regresar al país trabajaron con ahínco para difundir el conocimiento científico, establecer industrias, publicar revistas de ciencia y tecnología y fundar asociaciones científicas e institutos de investigación. En 1928 ya existían la *Academia Sínica* y la Academia de Ciencias de Beijing. No obstante, las frecuentes guerras y la débil fortaleza nacional imposibilitaron el rápido desarrollo de la ciencia. Sólo tras la fundación de la República Popular de China en 1949, la ciencia y la tecnología nacionales registraron verdaderos progresos importantes. Gracias a 40 años de dedicación y esfuerzos de la comunidad científica y tecnológica, China ha establecido un sistema de disciplinas relativamente completo, compuesto por la ciencia fundamental, la ciencia aplicada, el diseño de ingeniería y el desarrollo. Se han logrado éxitos notables y se han efectuado contribuciones extraordinarias al desarrollo y al progreso social de la nación.

NECESIDADES: RETOS Y OPORTUNIDADES

A medida que nos aproximamos al final del siglo, la sociedad humana está registrando un enorme cambio. La profundidad, alcance y velocidad del desarrollo de la ciencia y de la tecnología modernas no tiene precedentes, y cada vez es mayor la interacción de la ciencia y la tecnología con la construcción económica nacional y el desarrollo social. ¿Qué proceso de desarrollo deberían seguir la ciencia y la tecnología chinas en tales circunstancias, y qué medidas deben adoptarse? Éstas son las preguntas que la comunidad científica china estudia constantemente e intenta responder. Para ello es preciso tener en cuenta dos aspectos importantes.

Primero, la ciencia se rige por sus propias leyes objetivas de desarrollo. En consecuencia, al establecer la política de ciencia y tecnología es preciso seguir esas leyes objetivas. Existen dos fuerzas que impulsan el desarrollo de la

ciencia y la tecnología: la búsqueda innovadora de los misterios naturales y el impulso práctico que da a la ciencia y la tecnología la construcción económica y el desarrollo social. Estas dos fuerzas motrices tienen que movilizarse plenamente para facilitar el desarrollo de la ciencia y la tecnología mediante la utilización de diferentes mecanismos operativos y sistemas de gestión.

En segundo lugar, el alcance, la velocidad y los centros de interés del desarrollo de la ciencia y la tecnología dependen grandemente de las condiciones nacionales fundamentales y de la fuerza nacional en general. En la actualidad estos factores o condiciones nacionales son los siguientes en China:

Exceso de población

La población de China se ha multiplicado por dos en los últimos 40 años y en la actualidad es de 1.200 millones de personas, es decir, una quinta parte de la humanidad. El 80 por ciento de esta población se dedica a la agricultura. Incluso considerando con optimismo los programas de planificación familiar en las zonas rurales, existe la posibilidad de que la población siga creciendo en el futuro, previéndose que hacia 2030 alcance un máximo de aproximadamente 1.500-1.600 millones de personas. La exigencia de atender las necesidades, la educación y la atención médica normales de una población tan grande constituye un difícil reto para el desarrollo de la economía y la ciencia.

Insuficiencia relativa de recursos

El territorio de China se extiende por una superficie de 9,6 millones de kilómetros cuadrados, pero el desierto, el *permafrost* y las zonas áridas constituyen una parte importante que es inadecuada para la agricultura y la ganadería, por lo que la tierra cultivable representa menos de 0,14 hectáreas por habitante. Los recursos hídricos de China son los más importantes del mundo pero por habitante sólo representan un cuarto de la media mundial. La superficie forestal se ha reducido al 13 por ciento y la media por habitante asciende a un sexto de la media mundial. Aunque abundan los yacimientos de carbón, titanio, estaño

y tierras raras, otros minerales fundamentales, como el petróleo, el gas natural, el hierro, el cobre y la silvita, no existen en grandes cantidades.

Graves problemas ambientales

El exceso de población y la deficiente gestión cultural y científica han dado por resultado la explotación excesiva de la tierra, los yacimientos minerales y los recursos silvícolas, y la proliferación de empresas con baja tecnología de producción ha causado graves problemas de contaminación ambiental. Todo ello incide grandemente en el desarrollo social y económico sostenible.

Necesidad de modernización de las actividades económicas tradicionales

Aunque China ha establecido una infraestructura industrial relativamente completa y desde hace bastante tiempo cuenta con la base material y técnica necesaria para la modernización industrial, su desarrollo económico se basa en el elevado consumo de recursos. La mayor parte de sus industrias tienen una tecnología y una gestión atrasadas, la calidad de sus productos es baja y sus beneficios son escasos. China registra uno de los consumos de energía más elevados por unidad de PNB y una de las productividades más bajas. Por consiguiente, el país tiene ante sí una importante tarea en lo que se refiere a mejorar sus industrias tradicionales mediante la ciencia y la tecnología modernas, y a mejorar de forma importante su producción.

Estos factores dan a entender que la orientación adecuada del desarrollo social y económico de China reside en el establecimiento de un sistema económico nacional que ahorre recursos, sobre la base de la ciencia y la tecnología y el mejoramiento de la calidad de la fuerza de trabajo.

ESTRATEGIAS Y POLÍTICAS PARA EL DESARROLLO DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

Por su condición de gigantesco país en desarrollo, China tiene que realizar progresos especiales en los siguientes aspectos de la ciencia y de la tecnología: aplicación de la

ciencia y la tecnología modernas (en especial, las tecnologías de la información y la automatización) para la transformación de sus industrias tradicionales, y de la ciencia y la biotecnología agrícolas modernas para el mejoramiento de su agricultura; prioridad del desarrollo y la industrialización con alta tecnología; logro de progresos significativos en determinadas esferas importantes, como el control demográfico, la protección ambiental, el aprovechamiento general de los recursos y su utilización, y la conservación de energía; por último, progresos importantes en investigación fundamental e investigación aplicada básica.

En el decenio de 1990, para cumplir los objetivos nacionales de desarrollo social y económico, la estrategia de China en materia de ciencia y tecnología ha consistido en adoptar como principal tarea la modernización de las tecnologías e instalaciones industriales destinadas a la producción en gran escala, controlar y proteger el medio ambiente para desarrollar de forma selectiva alta tecnología y las industrias correspondientes con el fin de fortalecer continuamente la investigación fundamental y tratar de aumentar el reconocimiento docente y nacional de la importancia de la ciencia y la tecnología.

La investigación fundamental tiene gran importancia para la construcción económica y el mejoramiento de los logros culturales de toda la nación. China es un país enorme. La simple importación de tecnologías extranjeras, en vez de aumentar los niveles científicos y culturales de todo el país, no permitirá disminuir la distancia existente entre China y los principales países industrializados, y menos aún efectuar innovaciones en determinadas esferas. China tiene que poseer su propio contingente de investigación fundamental. Por otra parte, China es también un país en desarrollo, por lo que la escala de su investigación fundamental debe concordar con su potencia nacional. Asimismo, la selección de los temas de investigación y el interés por el desarrollo deben ajustarse primero a las necesidades de la construcción económica nacional y su desarrollo social. De no ser así, no podrá garantizarse el desarrollo estable de la investigación fundamental. En este contexto, China tiene que desarrollar su investigación fundamental a medio y a largo plazo mejorando de forma

importante la calidad del personal dedicado a ella, a fin de establecer bases adecuadas para el desarrollo racional, mantenerse al corriente de los progresos de la ciencia mundial e intentar realizar contribuciones importantes a los conocimientos en algunas esferas marginales escogidas. Al mismo tiempo, es preciso prestar especial atención a la investigación aplicada básica y al fortalecimiento gradual de la capacidad científica de China para resolver los problemas importantes que plantea su economía, desarrollo social y defensa nacional. La investigación fundamental y la investigación aplicada básica deben abrirse a los científicos de todo el país y de todo el mundo. El personal de investigación debería tener gran movilidad y sería preciso seguir fortaleciendo la colaboración entre la Academia China de Ciencias y las universidades. El Estado apoya y orienta la investigación fundamental, financiando la Fundación de Ciencias Naturales y aplicando un programa especial a nivel nacional, titulado «Proyecto Ascensión», que apoya las investigaciones en determinadas esferas importantes en las fronteras de la ciencia, en el marco del Programa Pandeng.

El desarrollo y los resultados obtenidos en la esfera de la alta tecnología reflejan la fuerza del país. El desarrollo de la alta tecnología requiere establecer un número limitado de objetivos y hacer hincapié en determinadas esferas de máxima importancia, intentar alcanzar elevados niveles internacionales y dar apoyo preferente a las esferas y proyectos que permitan una amplia aplicación y tal vez importantes progresos. Entre tanto, es preciso intentar avanzar en el desarrollo de industrias de alta tecnología, alentar las zonas de desarrollo industrial de alta tecnología y acelerar el proceso de comercialización, industrialización e internacionalización de dicha tecnología mediante el fomento de la cooperación internacional y del mercado. En el decenio de 1990 las esferas prioritarias en materia de desarrollo de la alta tecnología son las de la microelectrónica, la informática y sus programas, las comunicaciones y sus redes, la biotecnología y la automatización. También es preciso estudiar las nuevas variedades de animales y plantas, los nuevos productos biológicos, los nuevos fármacos y vacunas, y la transformación de los recursos reno-

vables y su utilización global, así como investigar y desarrollar nuevos materiales, como por ejemplo los compuestos, los estructurales, los amorfos, los superconductores y los fotovoltaicos. Es preciso hacer hincapié continuamente en la investigación y desarrollo de la tecnología de satélites y de la combustión avanzada, la teledetección y la reducción de riesgos para que China pueda aumentar su capacidad de educación masiva, control ambiental y ahorro de recursos. El Estado fomenta la labor en estas esferas, principalmente mediante el «Programa 863» y el «Programa Antorcha».

Independientemente de que sea o no posible controlar el aumento demográfico, la calidad de vida de la población ha aumentado, los recursos naturales se han explotado y utilizado racionalmente y el medio ambiente se ha protegido, todo lo cual tiene gran importancia para el futuro de China. Por consiguiente, se considera de gran interés la ciencia y tecnología relacionada con el desarrollo social, y el fortalecimiento de la investigación y el desarrollo en esferas tan importantes como la demografía, la medicina, los servicios sociales, la infraestructura pública, la protección ambiental y ecológica, y el control y prevención de las catástrofes naturales. A raíz de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD) celebrada en 1992, China formuló el «Programa 21 de China» y aumentó la investigación y desarrollo en las esferas del medio ambiente, la ecología y los recursos naturales.

La transformación de la industria tradicional mediante la tecnología moderna constituye una tarea urgente del desarrollo económico de China, así como una obligación que no pueden eludir los científicos y tecnólogos del país. La satisfacción de las necesidades industriales de investigación y desarrollo debe centrarse en aumentar los beneficios económicos. Deben aplicarse la tecnología y las técnicas de gestión modernas, especialmente las electrónicas y de información, con el fin de transformar diversos sectores industriales, mejorar la precisión y el control de la maquinaria y el equipo, ahorrar energía y reducir el consumo de materiales, mejorar la calidad de los productos, crear una gama de nuevos productos, y aumentar la pro-

ductividad y la competencia internacional de los productos; dicho en pocas palabras: para optimizar la estructura y los productos industriales. Debería reforzarse la investigación agrícola y planearse de forma que mejore el proceso de desarrollo agropecuario. Al mismo tiempo, es preciso llevar a cabo con verdadera seriedad la popularización y difusión de la tecnología agrícola avanzada y el reajuste racional de la infraestructura industrial rural y la estructura del empleo. A este respecto, el Estado ha establecido el Programa de Tareas Fundamentales de Ciencia y Tecnología, el Programa de colaboración de la Industria y las Instituciones Universitarias y de Investigación y el «Programa Chispa», para tratar de orientar hacia la causa del desarrollo económico a toda la comunidad nacional dedicada a la ciencia y la tecnología.

Para aplicar con éxito estas estrategias, el Estado ha formulado una serie de políticas y ha adoptado diversas medidas, por ejemplo mejorando la gestión de los fondos dedicados a investigación y desarrollo con el fin de dar apoyo preferente a esferas y programas fundamentales, desarrollando los recursos humanos para descubrir nuevos talentos en I+D y realizar plenamente sus iniciativas, y aplicando medidas económicas, como por ejemplo beneficios fiscales y en materia de precios, préstamos y amortización, con el fin de introducir y hacer avanzar la ciencia y la tecnología en las empresas y las zonas rurales para crear un entorno estable, democrático y universitario libre en lo que respecta a la labor de I+D y a fomentar activamente el intercambio y cooperación internacional en la materia.

EL SISTEMA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA: ESTRUCTURA ORGANIZATIVA Y REFORMA DEL SISTEMA

Los sistemas de ciencia y tecnología constan fundamentalmente de dos componentes: la estructura organizativa y el mecanismo operativo; el primero incluye el sistema de gestión y las organizaciones ejecutivas.

En comparación con los existentes en otros países importantes, el sistema chino de gestión de la ciencia y la

tecnología está relativamente centralizado, o por lo menos condicionado por una política unificada. Debido a la división en departamentos de los sistemas administrativos y financieros del Estado, el sistema de ciencia y tecnología de China es una complicada red con múltiples capas, cauces y elementos en los que intervienen el Gobierno central y el de las provincias, las unidades de gestión y las organizaciones ejecutivas, así como diversos sectores e industrias. El Gobierno se encuentra en el centro de esta red: adopta las decisiones y es el principal proveedor de recursos para la ciencia y la tecnología, cuyos principales ejecutores son las instituciones de investigación oficiales. El Consejo de Estado es la autoridad suprema de decisión y gestión, encargada de las políticas nacionales de ciencia y tecnología, y la Comisión Estatal de Ciencia y Tecnología, la Comisión Estatal de Planificación y la Comisión Estatal de Ciencia e Industrias de la Defensa, la Comisión Estatal de Educación y la Academia China de Ciencias son los departamentos funcionales que dependen del Consejo de Estado y constituyen las organizaciones de gestión de la ciencia y la tecnología a nivel estatal. Las dependencias correspondientes de los mencionados departamentos a nivel provincial, de prefectura y de distrito, así como las oficinas industriales locales, constituyen la organización local de gestión que completa un sistema de múltiples niveles, de arriba abajo. Por razones históricas, hasta ahora los sistemas de gestión e investigación en ciencias sociales están separados de los correspondientes a las ciencias naturales.

En la esfera de las ciencias naturales y su tecnología, la base de I+D está compuesta por la Academia China de Ciencias, las dependencias de investigación y desarrollo adscritas a los diversos departamentos oficiales, las instituciones de enseñanza superior y sus correspondientes dependencias de I+D, las dependencias de desarrollo tecnológico de las empresas industriales de tamaño medio y grande, y las dependencias de desarrollo tecnológico administradas por colectivos y personas individuales (véase el Cuadro 1).

La Academia China de Ciencias y las dependencias de I+D adscritas a departamentos oficiales son las más importantes en cuanto a su capacidad de investigación. Aunque

no muy numerosas, destacan en la distribución de fondos para I+D, recursos humanos y potencia de investigación, y constituyen la columna vertebral de la labor de I+D en China. Recientemente, al profundizarse la reforma del sistema económico y con ella la de la ciencia y la tecnología, las dependencias de desarrollo tecnológico administradas por colectivos y personas individuales han aumentado espectacularmente en número, si bien sólo algunas pueden mostrar verdaderos logros en materia de investigación científica.

Las instituciones mencionadas muestran diferente interés en esferas y orientaciones concretas de la investigación. La Academia China de Ciencias y las principales universidades se ocupan sobre todo de la investigación fundamental. Las organizaciones de investigación de cuestiones médicas, agrícolas e industriales realizan investigaciones fundamentales orientadas a un determinado fin, pero su labor de I+D se refiere sobre todo a temas de posible aplicación relacionados estrechamente con sus propias esferas de actuación y tecnologías de carácter general y fundamental. Las dependencias de I+D adscritas a empresas industriales se dedican principalmente a fomentar el progreso tecnológico de sus empresas, y las dependencias de I+D administradas por colectivos y personas individuales se centran en los proyectos a corto plazo que puedan producirles beneficios rápidos.

Durante el proceso de reforma del sistema de ciencia y tecnología cabe destacar la aparición sucesiva de nuevas formas de organización de la I+D sobre la base de las instituciones de investigación originales. Por ejemplo, desde 1984 la Academia de Ciencias ha establecido 155 laboratorios estatales de primer orden y algunas universidades importantes con el apoyo de la Comisión Estatal de Planificación. Unos y otras no sólo han consolidado la superioridad de las disciplinas tradicionales chinas sino que también han abierto nuevas esferas de investigación y se han convertido en bases importantes para la formación de personas que destacan en la ciencia y la tecnología, así como de los que serán lo adelantados universitarios de las próximas generaciones. A finales de 1993 el Estado había establecido 67 centros de investigación mecánica y tecno-

CUADRO 1
ORGANIZACIONES DE I+D EN CHINA

	1990	1993
Dependencias de I+D adscritas a departamentos oficiales	4 961	4 996
Academia China de Ciencias	123	123
Instituciones de enseñanza superior	806	814
Dependencias de I+D adscritas a instituciones de enseñanza superior	1 666	1 802
Dependencias de desarrollo tecnológico de empresas de tamaño medio y grande	8 116	9 432
Dependencias de desarrollo tecnológico administradas por colectivos y personas individuales	8.523	55.000
Total	24 195	72 167

Fuente: *Science and Technology Indicators in China: 1992 and 1994*, Comisión Estatal de Ciencia y Tecnología. Beijing.

lógica con el fin de aumentar los niveles de I+D en la materia, fortalecer los vínculos entre las instituciones de investigación y la industria, y fomentar la transformación de los logros de la investigación en productividad real. En 1993 y 1994 también se establecieron diversos centros de desarrollo tecnológico en aproximadamente cien empresas grandes y medianas. Para atraer y retener a especialistas experimentados en ciencia y tecnología, el Gobierno ha establecido 299 centros para jóvenes investigadores de posgrado en 96 universidades y 69 institutos de investigación. El desarrollo de estas nuevas organizaciones ha tenido gran influencia en las actividades de ciencia y tecnología de China y se prevé que constituyan la base del nuevo sistema nacional a este respecto.

Además de las organizaciones de I+D, hay en China 45.000 unidades de servicios de ciencia y tecnología que se ocupan de la información y las publicaciones en la materia, servicios de consulta, estudios geológicos, observaciones meteorológicas, vigilancia de terremotos, cartografía,

protección ambiental, aplicación de patentes y gestión del mercado tecnológico.

Todas estas instituciones y organizaciones constituyen el enorme sistema chino de ciencia y tecnología. El Gobierno siempre ha dado gran importancia a su gestión eficaz, para lo cual demuestra gran interés por el trabajo de su personal y aplica con rapidez a la producción los progresos alcanzados en materia de I+D. La reforma del sistema de ciencia y tecnología llevada a cabo en el último decenio se ha centrado en su mecanismo operativo, con los siguientes puntos básicos:

- Se han adoptado diferentes sistemas de asignación y gestión de fondos para las distintas organizaciones de investigación, con arreglo a la naturaleza de sus trabajos, y se han reducido gradualmente los fondos de explotación y en consecuencia se ha ampliado la parte dedicada a apoyar el mejoramiento de los proyectos de investigación científica. En lo que se refiere a la investigación fundamental, se ha establecido un fondo inicial y se proporciona mayor ayuda para los proyectos que se consideran mejores según el criterio de los propios especialistas. Se facilita apoyo mediante diversos planes y programas estatales para la investigación en materia de recursos, medio ambiente, ecología, datos fundamentales y estudio de los principios y metodologías de las tecnologías universales y básicas. La financiación de la investigación del desarrollo tecnológico se obtiene principalmente del mercado gracias a la transferencia de tecnología y productos y la cooperación con empresas industriales. El Estado proporciona una cantidad modesta de los fondos necesarios.
- Se ha ampliado la independencia y autoridad de los institutos, se ha reducido la interferencia oficial y se han introducido los principios de economía de mercado y competencia.
- Se ha fomentado la movilidad del personal dedicado a ciencia y tecnología, se han reforzado las relaciones entre instituciones de investigación, universidades y empresas industriales y se ha mejorado el intercambio de información y personal.

- Al mismo tiempo que se hace hincapié en el servicio a la economía nacional, se muestra continuo interés en la investigación fundamental y en una propuesta por mantener un porcentaje racional de investigación de esta clase. La investigación aplicada y el desarrollo también consiguen cada vez más apoyo de los científicos y los funcionarios públicos.

La actual reforma de los sistemas económicos y de ciencia y tecnología se enfrenta con viejos problemas acumulados durante el proceso de desarrollo histórico y social y tiene que modificar los conceptos de valor a que está acostumbrada la gente. Por esto el proceso es difícil y complicado. En la actualidad una cuestión importante es hasta qué punto deben incorporarse al mercado las instituciones de investigación. Está claro que obligar a esas instituciones a orientarse hacia el mercado reduciendo sus recursos antes de que se alcance una mejora real del entorno social probablemente causaría la pérdida de recursos acumulados que se destinan a la comunidad científica y tecnológica y afectaría a su desarrollo a largo plazo. Y más aún, un exceso de interés por obtener beneficios agravaría en cierto modo el carácter cerrado de las instituciones de investigación y sería desfavorable a la integración de la ciencia y la tecnología en la economía. El Estado es consciente de estos problemas y adopta las medidas adecuadas.

INSUMOS Y PRODUCTOS DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

La breve reseña siguiente acerca del personal, la financiación y la producción en la esfera de la ciencia y la tecnología tiene por finalidad dar a conocer la infraestructura científica fundamental existente actualmente en China.

Personal

El personal de ciencia y tecnología constituye la auténtica base del desarrollo en esta esfera. En 1993 trabajaban en ella un total de 2.426.300 personas (sin incluir a personal de apoyo de departamentos al servicio de la ciencia y la tecnología). De ellas, 1.484.300 eran científicos e ingenieros, es decir, el 61,2 por ciento del total. Durante ese mismo

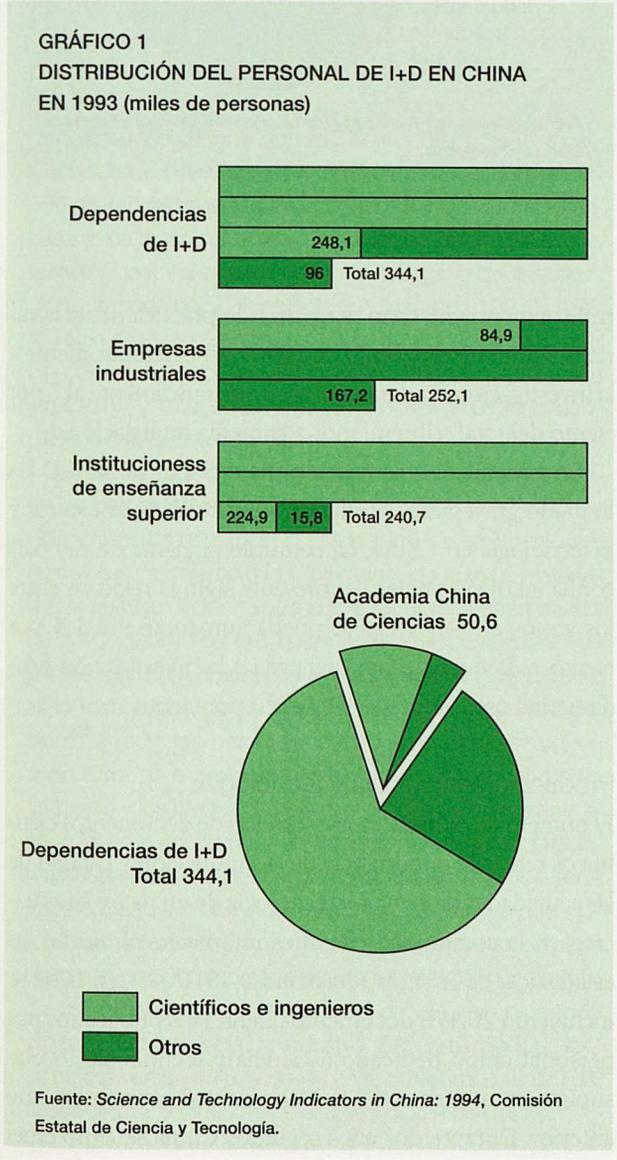
año, el número de personas dedicadas a I+D fue de 916.800, entre ellas 598.200 (el 65,3 por ciento) científicos e ingenieros. Entre las personas dedicadas a I+D, 344.000 trabajan en dependencias de investigación y desarrollo (véase el Gráfico 1).

La vitalidad de los sistemas de ciencia y tecnología se debe a la entrada continua de jóvenes talentos y a que las instituciones de enseñanza superior son el vivero de futu-

ros científicos e ingenieros. En 1993 el número total de estudiantes matriculados en las universidades y los colegios de enseñanza superior de China superó la cifra de 2.536.000, y el de alumnos posgraduados la de 107.000 (incluidos 18.000 estudiantes de doctorado). Durante el mismo año, terminaron sus estudios 571.000 alumnos de licenciatura y 18.000 de posgrado. Desde 1990 el porcentaje de estudiantes titulados en ciencia y tecnología ha sido del 40 por ciento, y el número de matriculados en estudios de licenciatura y de posgrado del 63,7 por ciento. También ha aumentado el número de alumnos de doctorado.

En cifras absolutas parecería que existe gran número de personas empleadas en labores de ciencia y tecnología y de alumnos de licenciatura y de posgrado, pero en cifras relativas su número es muy pequeño, ya que China tiene una población muy grande y esas actividades tienen un alcance muy amplio. Calculado en porcentaje de la población total, el número de personas dedicadas a la ciencia y la tecnología no sólo es muy inferior al de los países desarrollados sino incluso más bajo que el de algunos países en desarrollo.

La actual reforma del sistema de ciencia y tecnología ha aumentado la movilidad de los empleados y les ha facilitado mayores oportunidades de desarrollo, ya que pueden encontrar puestos de trabajo adecuados personalmente y para las necesidades del país. No obstante, el proceso de reforma también está teniendo algunos efectos negativos sobre la estabilidad del contingente dedicado a I+D. Dado que las condiciones de vida y de trabajo del personal dedicado a ciencia y tecnología son relativamente malas, muchas personas, especialmente jóvenes, se van al extranjero o se dedican a los negocios. Esta pérdida de talentos, acompañada del envejecimiento de la actual comunidad de científicos y tecnólogos y la falta de sucesores capacitados, se ha convertido en una grave amenaza para el desarrollo a largo plazo de la ciencia y la tecnología en China, lo que requiere una solución urgente. El Gobierno y la Academia China de Ciencias han adoptado recientemente diversas medidas para atraer a jóvenes talentos y crear mejores condiciones en la esfera de la investigación.



Financiación de la ciencia y la tecnología

Los gastos en ciencia y tecnología, especialmente los dedicados a I+D, constituyen un reflejo de la fuerza nacional en la materia, así como de la amplitud del apoyo recibido del Gobierno y de la sociedad en conjunto. Por consiguiente, los niveles de financiación de la ciencia y la tecnología son un indicador importante del compromiso contraído en favor de estas actividades y un factor fundamental para su realización.

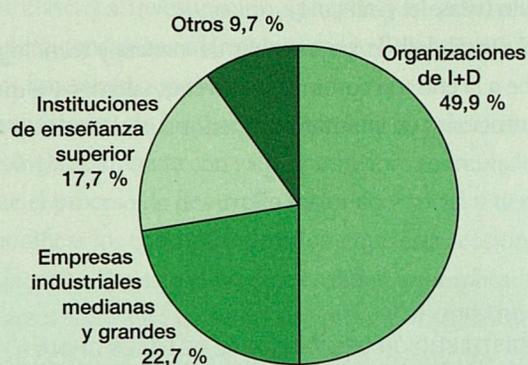
En 1993 la financiación nacional total de la ciencia y la tecnología ascendió a 19.600 millones de yuan (2.400 millones de dólares EE.UU.), lo que supuso un aumento de 2.700 millones de yuan respecto del año anterior. No obstante, calculado a precios constantes de 1992, el aumento real sólo fue del 0,66 por ciento, el menor registrado desde 1988. En 1994 el total alcanzó la cifra de 22.200 millones de yuan (2.700 millones de dólares EE.UU.).

Desde 1989 la relación entre gastos en I+D y el PIB de China ha oscilado en torno del 0,7 por ciento, y en 1993 disminuyó al 0,62 por ciento, lo que indica que el aumento de los insumos en I+D es inferior al desarrollo de la economía china y el rápido crecimiento del PIB. Esta relación queda muy lejos de la registrada por los países desarrollados y los de nueva industrialización, y es inferior a la de la India.

La financiación china de la I+D procede principalmente del Gobierno. Aunque la industria aporta algunas contribuciones a la ciencia, muy poca cantidad se utiliza para tareas de I+D. En el Gráfico 2 puede verse que las dependencias de I+D de los departamentos oficiales constituyen los principales apoyos de la investigación en China, ya que la capacidad de I+D de las empresas industriales es relativamente escasa y la de las instituciones de enseñanza superior todavía requiere un mayor desarrollo. No hay duda de que esta estructura en la que destaca el papel del Gobierno se debe al desarrollo económico, pero también está determinada por el sistema de ciencia y tecnología existente en China. Es probable que la situación cambie al profundizarse la reforma del sistema.

Los porcentajes de financiación de la I+D dedicados a investigación fundamental, investigación aplicada y desa-

GRÁFICO 2
DISTRIBUCIÓN DE LA FINANCIACIÓN DE LA I+D EN CHINA EN 1993, POR TIPOS DE ORGANIZACIONES DE EJECUCIÓN



Fuente: *Science and Technology Indicators: 1994*, Comisión Estatal de Ciencia y Tecnología.

rollo experimental han permanecido prácticamente invariables durante el decenio de 1990, y el correspondiente a la investigación fundamental asciende únicamente al 7 por ciento del total, cifra inferior a la media internacional.

En general, la financiación insuficiente de la I+D ha limitado gravemente el ulterior desarrollo de la ciencia y la tecnología en China. La comunidad científica del país confía en que a finales del presente siglo la relación entre los gastos en I+D y el PIB pueda aumentarse al 1,5 por ciento, y la financiación dedicada a la investigación fundamental oscile entre el 10 y el 20 por ciento.

Producción en ciencia y tecnología

El número de publicaciones y de citas de documentos científicos refleja la importancia de la producción y calidad de las actividades de ciencia y tecnología de un país y su situación en la comunidad científica internacional. Según las estadísticas de *Science Citation Index*, *ISTP* y *EI*, en 1993 se incluyeron 20.178 documentos científicos publicados por personal chino dedicado a ciencia y tecnología, lo que supuso un aumento del 9,2 por ciento respecto del año anterior. Durante dos años seguidos China se situó en el

La Academia China de Ciencias

Fundada en 1949, la Academia China de Ciencias (ACC) es la principal institución académica del país y el centro general de I+D en la esfera de las ciencias naturales y de las nuevas y las altas tecnologías. En su calidad de academia nacional, tiene la delicada responsabilidad de desarrollar la ciencia y la tecnología y resolver los principales problemas planteados en esta esfera en el curso de la construcción económica nacional y el desarrollo social. Ha efectuado, y seguirá haciéndolo, importantes contribuciones a la vida y el bienestar del país.

La Academia se compone fundamentalmente de dos partes. La primera la constituyen los miembros seleccionados entre los científicos más destacados de la comunidad científica y tecnológica de todo el país, así como las divisiones compuestas por los miembros. En la actualidad hay 560 miembros organizados en cinco divisiones (matemáticas y física, química, biología, ciencias de la tierra y ciencias tecnológicas). La segunda parte es el órgano de investigación integrado por 123 institutos. A finales de 1993 la ACC tenía 81.500 empleados. De ellos, 50.600 (casi el 64 por ciento) se dedicaba a I+D, incluidos 36.200 científicos e ingenieros, y 15.000 tenían títulos oficiales de profesor asociado o categorías superiores.

Las actividades de I+D de la ACC oscilan entre la ciencia fundamental (matemáticas, astronomía, ciencias de la vida y ciencias de la tierra) y las disciplinas de ingeniería y tecnología, por ejemplo la informática, los nuevos materiales, la energía, la tecnología espacial, etc. La tarea básica de la ACC es dedicar el 30 por ciento de su personal de I+D a investigación fundamental e investigación innovadora en altas tecnologías en las fronteras de la ciencia, el 30 por ciento a recursos naturales, medio ambiente, ecología y agricultura para proteger y mejorar la calidad del medio ambiente y los niveles de vida, y el 40 por ciento restante al servicio de la economía y el mercado para resolver problemas esenciales de ciencia y tecnología en el proceso de transformación de las industrias tradicionales y el desarrollo de otras nuevas. En los últimos 10 años se han establecido más de 500 empresas de alta tecnología, con un total de 18.000 puestos de trabajo, a fin de integrar en un todo orgánico la tecnología, la industria y el comercio. La ACC se ha convertido en una de las bases más importantes del desarrollo de la industria de alta tecnología de China.

La investigación fundamental se lleva a cabo en diversos institutos y laboratorios de primer orden, como se indica a continuación. En 1994 la ACC estableció dos centros científicos especiales dedicados a ciencias de la vida y ciencias de la tierra, a los que se encargó fomentar la interacción e integración de las diferentes disciplinas de la investigación. Por motivos económicos, la insuficiencia de fondos para tareas de I+D no se superará a corto plazo. En consecuencia, es esencial seleccionar adecuadamente las prioridades de investigación y las esferas más importantes. La ACC sostiene que las esferas más importantes de la investigación fundamental que es preciso seleccionar deben reunir las condiciones siguientes: a) tener gran influencia sobre el desarrollo científico y la economía nacional; b) constituir esferas activas en las fronteras de la ciencia a escala mundial; y c) tener una sólida base investigadora, ser tratadas en adecuadas instalaciones de trabajo y ofrecer la posibilidad de conseguir importantes progresos. Según estos criterios, entre las esferas de desarrollo prioritario la ACC incluye la física de la condensación, la química de los grandes conjuntos, la biología molecular, la ciencia de las neuronas y la ciencia cognitiva, el cambio climático global, la astrofísica, la ciencia no lineal, la nanociencia y la tecnología, la ciencia del medio ambiente, la diversidad biológica, y los problemas fundamentales en materia de información, energía, materiales y tecnología espacial.

INVESTIGACIÓN FUNDAMENTAL REALIZADA EN LAS INSTITUCIONES DE LA ACADEMIA CHINA DE CIENCIAS

Instituciones	N.º	Porcentaje del
		esfuerzo nacional de investigación
Laboratorios de primer orden	50	33
Laboratorios abiertos	63	66
Centros de investigación en materia de ingeniería y tecnología	9	29
Centros para jóvenes investigadores recién doctorados	62	21

duodécimo lugar mundial por el número de documentos científicos publicados. En lo que respecta al número de citas, entre 1987 y 1992 se incluyeron en el mencionado *Index* 32.503 documentos científicos pero sólo se citaron 7.059, en un total de 12.896 ocasiones. La tasa de citación, de aproximadamente 0,22, fue inferior a la media mundial.

Las patentes constituyen otro indicador fundamental para medir la producción en ciencia y tecnología. En los dos últimos años el sistema de patentes de China se ha fortalecido y se han registrado grandes progresos en esta labor. En 1993 se recibieron 77.000 solicitudes de patentes y se concedieron 62.000, lo que supuso un aumento del 34,2 por ciento y del 97,4 por ciento, respectivamente, en relación con el año anterior. Las solicitudes de patentes de inventos, servicios públicos y diseño exterior constituyeron el 25,4 por ciento, el 61,5 por ciento y el 13,1 por ciento del total, respectivamente.

Existen pruebas de que la investigación científica ha proporcionado conocimientos, teorías, metodologías, pensamientos y talentos que han contribuido al desarrollo económico y social de China, y que gran número de logros en materia de ciencia y tecnología se han transformado en una fuerza productiva. En la industria, la investigación científica ha proporcionado nuevos productos, nuevos procesos y nuevos diseños y es origen de productos de alta tecnología y de los correspondientes procesos industriales. En el aprovechamiento y utilización de los recursos naturales y la protección del medio ambiente, la investigación científica puede proporcionar normas básicas, datos fundamentales y orientaciones teóricas. En agricultura, medicina y otras esferas relacionadas estrechamente con la alimentación y la salud, la investigación científica sienta las bases para el cultivo de nuevas variedades, el desarrollo de nuevas técnicas agropecuarias y la erradicación eficaz de insectos, así como orientaciones teóricas para el desarrollo y las técnicas. Estos hechos son totalmente evidentes aunque no puedan apoyarse en indicadores cuantitativos. Desde que empezó el decenio actual la economía de China ha registrado un rápido y sostenido crecimiento que, según el Modelo Solow, se debe en un 26,7 por ciento a la ciencia y la tecnología, cifra muy inferior a la registrada en los paí-

ses desarrollados. No obstante, teniendo en cuenta la situación actual de la economía china y en comparación con el pasado, podemos afirmar sin temor a equivocarnos que la ciencia y la tecnología aportan cada vez mayores contribuciones al desarrollo económico del país.

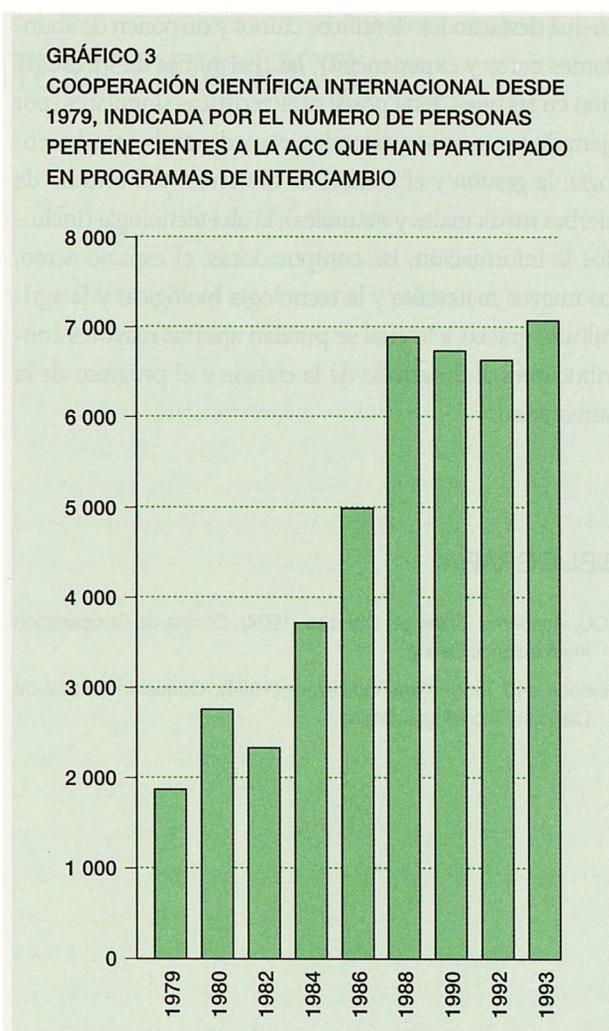
RELACIÓN CON EL MUNDO: COOPERACIÓN INTERNACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Se reconoce desde hace tiempo que la investigación científica no conoce fronteras nacionales y que los progresos científicos deben ser compartidos por toda la humanidad. En los últimos años, gracias al rápido desarrollo de la ciencia y la tecnología, ha aumentado el número de países que poseen un número importante de científicos e ingenieros capacitados y programas de investigación avanzada, lo que ha dado por resultado el aumento de las oportunidades de colaboración transnacional. Además, el costo del mantenimiento de los sistemas modernos de investigación aumenta constantemente, por lo que cada vez está más claro que ningún país por sí solo puede sufragar las inversiones necesarias para la denominada macrociencia y alta tecnología, que por definición es cara y arriesgada. Dada esta situación, la cooperación internacional y el reparto de los costos constituyen una necesidad absoluta. Además, es preciso cooperar para ocuparse de las cuestiones de escala mundial, como la demografía, el medio ambiente, los recursos y las catástrofes naturales, con que se enfrenta la humanidad en conjunto. Por consiguiente, la integración de oportunidades y necesidades ha tendido a fomentar la aparición de un sistema internacional de ciencia y tecnología. La internacionalización de la ciencia y la tecnología se ha convertido en una de las importantes tendencias del desarrollo científico y tecnológico en los últimos decenios.

El fomento activo de la cooperación y los intercambios internacionales en materia de ciencia y tecnología constituyen una importante política a largo plazo del gobierno de China, el cual ha firmado hasta ahora acuerdos científicos con 85 países y establecido relaciones de cooperación científica con 134 países y regiones. El Gobierno otorga gran importancia a la integración de la cooperación cien-

tífica con la cooperación económica y el comercio, de forma que la colaboración en la esfera científica constituya un cauce fundamental para introducir tecnologías avanzadas y financiación, alentando los intercambios de tecnología, productos y servicios. Para promover la internacionalización de las empresas e instituciones de investigación en ciencia y tecnología, el Gobierno de China está creando activamente las condiciones necesarias para atraer a instituciones y empresas de investigación extranjeras con el fin de administrar conjuntamente instituciones de este tipo y unidades de ciencia y tecnología en el país por medio de empresas mixtas y colaboraciones. Entre tanto, también se alienta a las instituciones chinas de investigación y a las empresas de ciencia y tecnología a que establezcan sucursales en el extranjero junto con sus homólogos de esos países. En 1993 la Comisión Estatal de Ciencia y Tecnología y el Ministerio de Relaciones Económicas y Comercio Exterior concedieron autonomía a 100 instituciones de investigaciones científicas en la esfera del comercio exterior.

La Academia China de Ciencias desempeña una función especialmente importante en el intercambio y cooperación de carácter científico. En el Gráfico 3 puede verse el aumento del número de intercambios personales registrados desde 1979. La ACC ha firmado 67 acuerdos del nivel correspondiente con academias, instituciones de investigación, universidades e importantes empresas de más de 40 países. Su 123 institutos han concertado más de 700 acuerdos de cooperación con sus homólogos de muchos países. El intercambio total de personal supera las 6.000 personas cada año. De ellas, el 30 por ciento se dedica a actividades de cooperación en materia de investigación. Además, se ha invitado a más de 150 científicos extranjeros en calidad de profesores visitantes o para ocupar puestos honoríficos en más de 60 institutos, y se ha elegido miembros de la Academia a 14 científicos extranjeros. La ACC también participa activamente en las actividades de organizaciones científicas internacionales. Doscientos cincuenta de sus más notables científicos ocupan puestos de dirección en organizaciones internacionales de ciencia y tecnología. También ha establecido relaciones de coope-



ración con el PNUD y la UNESCO, y es el punto de contacto nacional de diversas organizaciones internacionales, como la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y sus Recursos (UICN) y el Programa Mundial de Investigaciones Climáticas.

La cooperación internacional ha permitido mejorar la labor de I+D al facilitar la formación de un numeroso grupo de destacados científicos y la obtención de muchos brillantes resultados en materia de investigación. Se confía en que la prosecución de esta labor conjunta permita progresar en las esferas de la investigación fundamental y la investigación básica aplicada (en especial en los sectores

en que destacan los científicos chinos y disponen de abundantes datos y experiencias), las disciplinas de investigación en las que China posee características singulares (por ejemplo los recursos naturales, el medio ambiente, la ecología, la gestión y el control de desiertos, y el estudio de hierbas medicinales y naturales), la alta tecnología (incluidos la información, las computadoras, el espacio aéreo, los nuevos materiales y la tecnología biológica) y la agricultura, gracias a lo cual se puedan aportar mayores contribuciones al desarrollo de la ciencia y el progreso de la humanidad.

BIBLIOGRAFÍA

- ACC. *Academia China de Ciencias* (1994), Oficina de Cooperación Internacional. Beijing.
- Science and Technology Indicators* (1994), Comisión Estatal de Ciencia y Tecnología. Beijing.

Zhou Guangzhao es Presidente de la Academia China de Ciencias. Se licenció en física por la Universidad de Tsinghua y prosiguió sus estudios de posgrado en la Universidad de Beijing antes de incorporarse a su facultad en 1954. En 1979 fue nombrado profesor del Instituto de Física Teórica de la Academia China de Ciencias, del que fue designado Director en 1983. Durante su distinguida carrera de investigador en física teórica, nuclear y de altas energías ha sido autor de numerosas publicaciones y ha recibido muchas distinciones honoríficas de eminentes sociedades extranjeras.

Tras un breve período como Vicepresidente de la Academia China de Ciencias, el Profesor Zhou fue nombrado Presidente de dicha institución en 1987. También trabaja en estrecha relación con la Asociación de Ciencias del Pacífico y la Academia de Ciencias del Tercer Mundo, organizaciones en las que desempeña elevadas funciones.

2

LOS DEBATES
CONTEMPORÁNEOS

La ética de la ciencia: entre humanismo y modernidad

NOËLLE LENOIR

Hoy en día hacer un balance de la actividad de investigación en el mundo significa reflexionar seriamente sobre el lugar y la responsabilidad de los investigadores y, de manera general, sobre la función de la ciencia en el desenvolvimiento de la civilización.

Dicho de otro modo, un *Informe Mundial sobre la Ciencia* no puede dejar de lado una de las cuestiones fundamentales de este fin de siglo: ¿Qué ética debe regir la ciencia?

En su excelente introducción al *Informe Mundial* de 1993, el Sr. M. G. K. Menon, presidente del Consejo Internacional de Uniones Científicas (CIUC), físico de renombre y actual miembro del Parlamento indio, evoca esta cuestión en un capítulo intitulado: «Aspectos éticos, derechos humanos y la imagen pública de la ciencia», en el que intenta demostrar que el progreso científico en sí no garantiza la evolución de la moral, ni basta tampoco para reforzar o preservar los derechos humanos. Corresponde al individuo, responsable aunque no dueño de su destino, y a la sociedad en su conjunto, velar por ello. Y aún más: si nuestro bienestar está en buena medida condicionado por el aporte de las ciencias y las técnicas, hoy en día todos somos conscientes de los peligros que pueden acarrear al ser humano ciertas aplicaciones. ¿Acaso en este siglo no se han visto la ciencia y la técnica puestas al servicio de las mejores y peores empresas? ¿No se han visto, por un lado, descubrimientos prodigiosos en medicina, como la penicilina y, por otro, la explosión de la bomba atómica sobre Hiroshima y Nagasaki; los frutos promisorios de la revolución verde y ciertos estragos irreversibles causados al medio ambiente; la conquista del espacio y el saqueo de valiosos recursos de nuestro planeta?

Por supuesto, el problema de la ética de la ciencia no es nuevo. Desde tiempos inmemoriales el progreso de los conocimientos determinó las etapas de la historia de la humanidad. Asimismo, las teorías científicas que ilustraron estos progresos originaron controversias éticas y filosóficas. Esto se comprende fácilmente: los avances de la ciencia suponen mejorar y aun cuestionar el saber anterior que se consideraba definitivamente establecido. Pero, más allá de esta constatación, observamos que la ciencia, tanto

la física como la química, la biología, la astronomía o las matemáticas, cuestiona sin cesar a la sociedad al plantear, generalmente de manera implícita, una cierta interpretación del universo y del lugar que el ser humano ocupa en él. No es muy probable que este interrogante fundamental encuentre alguna vez una respuesta científica. De todos modos, la aprehensión de la ciencia de los mecanismos del universo tiene repercusiones filosóficas y políticas. De allí que la revolución de Copérnico haya provocado tanta conmoción y que, más tarde, la Inquisición haya procesado a Galileo. El lugar del hombre, creación divina, ¿no quedaba disminuido al dejar de ser la Tierra el centro del universo para convertirse en un simple planeta que gira alrededor del Sol?

Igualmente, las investigaciones que realiza la biología, en especial la neurobiología, plantean nuevos interrogantes sobre la especificidad de la especie humana comparada con las demás especies vivas.

Sin embargo, las preguntas que el ser humano se hace con respecto a su propia condición no lo han detenido en su búsqueda perpetua de conocimientos. Al contrario, desde sus orígenes se ha dedicado a modelar el mundo con el fin de adaptarlo a sus necesidades luchando contra el hambre, la enfermedad y todas las otras agresiones de las que es víctima. Y seguirá haciéndolo.

El cambio de la sociedad con respecto al progreso científico es esencialmente de perspectiva. Desde finales de la Segunda Guerra Mundial, corresponde a una toma de conciencia universal de la ambivalencia de dicho progreso: factor de bienestar y de liberación de las coacciones naturales, actualmente es considerado también como un posible instrumento de autodestrucción.

En este contexto, la ética permite estar en «estado de vigilia» permanente, con miras a garantizar que la ciencia y la técnica contribuyan positivamente al bienestar común y los adelantos sociales y democráticos.

Si se carece de un control ético de este tipo, la desconfianza con respecto a las innovaciones científicas y técnicas puede aumentar y fomentar la aparición de movimientos políticos y religiosos que erigen como dogma el rechazo de la modernidad por considerarla el símbolo de

la perversión del mundo contemporáneo. Ahora bien, el miedo, «el amigo más fiel del hombre», provoca tensiones en las sociedades (Bedjaoui, 1995); obstaculiza sobre todo la creación de relaciones de solidaridad entre los pueblos que son la base de la paz y prosperidad mundiales.

La ética de la ciencia, como reflexión sobre las consecuencias del progreso, concierne a la comunidad internacional y, por lo tanto, a las organizaciones internacionales, en primer lugar a la UNESCO. De hecho, la trilogía que compone el nombre de la UNESCO –Educación, Ciencia y Cultura– nos remite exactamente al planteamiento ético: ¿qué comportamientos individuales y colectivos adoptar para que la humanidad sea capaz de afrontar los desafíos de la ciencia y la técnica?

El mundo se ha vuelto cambiante e inestable y su futuro parece incierto, tanto por el crecimiento demográfico acelerado como por la magnitud del riesgo tecnológico. De ahí la necesidad de valores de referencia, es decir, de una ética que responda al sentimiento de responsabilidad con respecto a las generaciones futuras que experimenta la sociedad actual. Como «el mañana se decide hoy», hace falta más que nunca una ética de la responsabilidad.

Estas responsabilidades atañen a todos los hombres y a todas las mujeres.

Pero también incumben, por su parte, a los científicos, dado que sus descubrimientos generan innovaciones que «cambian nuestras vidas». Ya no es posible trazar un límite neto entre la ciencia y la tecnología, entre la investigación y sus aplicaciones. Como señala M. G. K. Menon: «La ciencia ya no es una actividad aislada, al margen de la sociedad, sino que está estrechamente interrelacionada con la medicina, la industria, la agricultura y otros sectores de producción, y con la actividad gubernamental e intergubernamental, de un modo y en unas proporciones que afectan a todo el conjunto de la sociedad». El mito del sabio en su «torre de marfil» pertenece al pasado. En estas condiciones se plantean dos preguntas fundamentales:

- ¿Qué responsabilidades sociales atañen a los científicos en particular?
- ¿Es posible concebir un proyecto ético que garantice la conciliación entre progreso técnico y humano?

ÉTICA DE LA CIENCIA Y RESPONSABILIDADES SOCIALES DE LOS INVESTIGADORES

«Los hombres han olvidado esta verdad. Pero tú no debes olvidarla. Te haces responsable para siempre de lo que has domesticado.» Así le habla el zorro al Principito de Saint-Exupéry. Y del mismo modo se resume el principio ético de la responsabilidad que, efectivamente, significa que nadie, ni siquiera el investigador puede despreocuparse de las consecuencias de un adelanto que transforma tanto la vida cotidiana de las personas como las relaciones entre los Estados.

Si bien el principio de «responsabilidad» puede concebirse según un punto de vista colectivo, tal como lo define el filósofo Hans Jonas, al mismo tiempo, en la actualidad, debemos admitir que existe una responsabilidad específica de los investigadores. Su compromiso para con la sociedad evoluciona de un modo que aunque parezca paradójico no lo es. En efecto, es en el momento preciso en que la ciencia parece haber perdido toda ambición «teleológica» cuando la investigación ejerce verdaderamente una influencia creciente en el curso de la historia.

La ciencia ha perdido su ambición teleológica
Es real que la ciencia no podría por sí misma establecer un proyecto de sociedad global. Dicho de otro modo, ciencia no es sentido.

Tres factores principales nos conducen a esta constatación: por un lado, la fragmentación de los conocimientos, por otro, la desmitificación del progreso como valor en sí mismo y, finalmente, la secularización de la ciencia:

La *fragmentación de los conocimientos* es una tendencia que se acentuó con el correr de los siglos. La división del saber en disciplinas cada vez más especializadas es el precio obligado de la ampliación de los conocimientos. Es también, sin duda, una de las condiciones para que la investigación sea eficaz.

Sin embargo, esta «hiperespecialización» puede originar, al mismo tiempo, un empobrecimiento de la capacidad inventiva, dado que muchas veces los grandes descu-

brimientos son el resultado inesperado de la combinación de enfoques y conceptos diversos. Cada disciplina, estrechamente limitada en el marco de una especialidad, se ve por esta misma razón obligada a emplear los recursos de las otras ciencias y técnicas, como en el caso de la biología, que utiliza en particular elementos de trabajo de física y química y, en la actualidad, de robótica e informática.

Por lo tanto, ya ninguna ciencia puede tener la pretensión de imponer un esquema unificado para explicar el mundo. Tampoco se espera más que la ciencia explique todo. La fe en la ciencia para aclarar todo y hacer que el universo sea comprensible, en función de un orden coherente de causas y efectos, perdió fuerza, a tal punto que las nociones de inestabilidad y de caos son el centro de interés de ciertas investigaciones.

Ni siquiera el progreso se considera ya una fuente intrínseca de bienestar para la humanidad. Según algunos el progreso es neutro. Para otros, que denuncian los «daños del progreso», provoca nuevos males: deterioro del medio ambiente, perjuicios a la salud del hombre, deshumanización o robotización de la sociedad, aumento de las desigualdades sociales, acentuación de la disparidad entre el Norte y el Sur.

Que el ser humano pueda ser su propio predador es una idea antigua, pero, hoy en día, esa idea se une a una cierta *desmitificación del progreso*. Incluso a veces se asocia con actitudes de estigmatización, con respecto a las sociedades industrializadas, que son más o menos justas y apropiadas.

El tercer factor importante de evolución de la forma de concebir la ciencia está relacionado con su *secularización*. Tal como subraya Jean-Pierre Changeux, presidente del Comité Consultivo Nacional Francés de Ética: «el avance de la ciencia... va acompañado de un progreso acumulativo de los conocimientos y de sus aplicaciones...», la ciencia misma ya no se considera, como el Derecho o la Moral, con respecto al objetivo de dictar el bien y condenar el mal. Retomando las palabras del filósofo de las ciencias Georges Ganguilhem, citado por J.-P. Changeux, la ciencia «establece verdades sin finalidad» (Changeux, 1995).

Por ende, ya no es una obligación oponerla a la religión o la moral. Como expresión del pensamiento humano, su

vocación es claramente abrir el camino para que el ser humano pueda asegurar su supervivencia, su bienestar y su libertad. Pero el ser humano tiene la responsabilidad de extraer los valores comunes que permitan alcanzar estos objetivos. Es en el núcleo de esta responsabilidad donde se abre el campo de la ética definida como «el estudio teórico de los principios, y también como el conjunto de principios que guían las acciones humanas» (Changeux, 1995).

La repercusión de la actividad científica en la vida de la sociedad

Los científicos se han convertido en protagonistas esenciales del cambio social. La alianza entre la ciencia y la tecnología realza, de hecho, la repercusión de la investigación en todos los ámbitos de la actividad humana.

Los cambios tecnológicos provocados por los descubrimientos científicos son sobre todo cada vez más rápidos. Esto se debe a la reducción del tiempo que transcurre entre el momento del descubrimiento y la aplicación de sus resultados.

Este fenómeno es más evidente aún en los casos en que, como ocurre en las ciencias de la vida, a menudo resulta imposible establecer una distinción perfectamente neta entre investigación básica, investigación aplicada y desarrollo tecnológico. La investigación en medicina es un caso típico: por ejemplo, la identificación de un gen, cuya disfunción origina una enfermedad, lleva casi inmediatamente a la elaboración de la prueba genética correspondiente.

En informática, que requiere modelos matemáticos, los sistemas amplían sus posibilidades a una cadencia tal que los equipos y programas lógicos pierden actualidad constantemente. Ahora bien, su reemplazo provoca permanentes cambios en los métodos de acción y en las formas de pensar, en todos los sectores de actividad. «La ciencia va más rápido que el hombre», según las palabras del presidente de la República Francesa en el discurso inaugural del Comité Consultivo Nacional Francés de Ética, en 1983.

La ciencia ya no se asocia solamente con las innovaciones tecnológicas que dirige. *La ciencia y la economía son cada vez más interdependientes.*

En efecto, el mercado mundial precisa para crecer las nuevas salidas que brinda la innovación; esto significa que la investigación exige una financiación cada vez mayor. Por esta razón la investigación, además de la ayuda pública, debe solicitar el apoyo de los fondos privados. Esa compensación se acentúa en el sector de la medicina: para crear una molécula nueva, en la industria farmacéutica, se necesita un promedio aproximado de diez años de labor y 500 millones de francos. Esto explica que la idea de rentabilidad haya dejado de ser ajena a la investigación y que ésta sea objeto de una competencia feroz entre industrias y entre países.

La obligación de lograr un rendimiento de las inversiones ejerce una presión sobre la conducta a seguir en materia de investigación. En el debate sobre las biotecnologías, en especial, las consideraciones financieras empujan a los laboratorios de investigación a solicitar patentes con mucha anticipación, para asegurarse las posibles ganancias derivadas de las aplicaciones industriales ulteriores. Esto ha originado la famosa controversia sobre la posibilidad de patentar lo que está vivo. Los opositores sostienen que, de todas formas, es inmoral patentar especies o genes que, por naturaleza, no deberían ser propiedad de nadie. Otros se oponen solamente a la idea de patentar el descubrimiento de genes naturales, puesto que no puede asimilarse a un invento en el sentido de la ley que rige las patentes. Otros, finalmente, se apoyan sobre la antigüedad de las patentes de lo que está vivo y alegan que esto no causa en sí ningún problema ético, y subrayan que, por el contrario, condiciona la continuación de la investigación en biología y en genética. Al asegurar la remuneración del autor del invento, o mejor dicho, del organismo industrial, financiero o del Estado, la patente aporta una compensación financiera por los desembolsos efectuados anteriormente. Como quedó probado cuando, el 1 de marzo de 1995, el Parlamento Europeo rechazó la propuesta de directriz sobre la protección jurídica de los inventos biotecnológicos, se trata de un debate de fondo que, sea cual sea la solución legislativa, demuestra la magnitud de los intereses que mueve la ciencia.

Uno de estos intereses tiene que ver con la opinión pública y su percepción de *la ciencia y la técnica consideradas en cierta medida como actividades «peligrosas»*.

Es indudable que la amenaza atómica, militar o civil, sirvió de detonador. Sin embargo, actualmente, la inquietud de la población frente al riesgo tecnológico ha aumentado de un modo general.

Es real que la ciencia moderna, al dotar al ser humano de poderes inigualados de transformación del mundo, le ha conferido paralelamente un potencial de destrucción del planeta sin parangón. La «vulnerabilidad» de la sociedad con respecto a las «amenazas técnicas» es una de las características de este siglo.

La prueba es que la comunidad científica se siente cada vez más aludida por las objeciones sobre el poder de la ciencia. Ya en 1970, cuando las técnicas de la ingeniería genética realizaban sus primeras pruebas, las palabras pronunciadas por Jacques Monod, premio Nobel, manifiestan este sentimiento de responsabilidad de los investigadores: «¿Podrán las sociedades modernas dominar indefinidamente los poderes fantásticos que les otorgó la ciencia, basándose en un humanismo difuso matizado con una especie de hedonismo optimista y materialista?». A esta pregunta el gran biólogo añade: «¿Podrán con estas premisas resolver sus tensiones intolerables? ¿O se derrumbarán?» (Russ, 1994).

LA ÉTICA DE LA CIENCIA: UN NUEVO HUMANISMO

Es importante destacar que Jacques Monod era biólogo. En realidad, fueron los adelantos de la genética lo que suscitó la aparición del movimiento ético, a partir de los años sesenta. Con anterioridad la física nuclear había provocado evidentemente airadas protestas luego del lanzamiento de la bomba atómica en 1945. Pero entonces los debates no habían llevado a una reflexión organizada, como en lo que respecta a la bioética.

En cambio, la ingeniería genética, puesto que es un procedimiento de modificación de los seres vivos, originó una controversia desde el principio. Vale la pena desta-

carlo, sobre todo porque los primeros interrogantes sobre el alcance y los riesgos de esta tecnología surgieron entre los especialistas en genética. Son ellos quienes, por así decirlo, firmaron la partida de nacimiento de la ética de la ciencia en sentido moderno.

En un congreso celebrado en Azilomar, Estados Unidos, los especialistas en genética reunidos para intercambiar experiencias decidieron efectivamente decretar una moratoria sobre sus investigaciones. Entonces se trataba sobre todo de retroceder para evaluar los riesgos que podía acarrear a la salud del ser humano y al medio ambiente la utilización de organismos genéticamente modificados (OGM). Esta moratoria se levantó al cabo de un año, y en la actualidad la mayoría de los países cuentan con leyes destinadas a fijar las normas de seguridad que deben respetarse en casos de uso restringido de OGM o de diseminación voluntaria de los mismos. Además, se ha vuelto relativamente frecuente la práctica de establecer una moratoria sobre una forma u otra de investigación o de aplicación tecnológica. Pero en aquella época era un hecho sin precedentes. ¿Cuál es la técnica cuya aplicación se vio coartada desde el principio por voluntad de sus propios inventores?

Además de la energía nuclear y de la genética, existe un tercer campo en el que surge eminentemente la reflexión ética: las tecnologías de la información. Éstas se han desarrollado de modo considerable gracias a la informática, los satélites y todos los otros medios modernos de acopio y transmisión de datos.

Hasta una época reciente la atención se centraba en el riesgo de atentar contra la vida privada y la libertad de las personas cuyos datos se explotaban, sobre todo por lo que atañe su situación financiera o familiar, su salud, sus hábitos de consumo o sus opiniones. Esta preocupación hizo que muchos países adoptaran leyes «de protección de datos», actualmente apoyadas por la legislación internacional, en especial en el marco del Consejo de Europa y la Unión Europea. Es indudable que muy pronto será necesario ocuparse también de la utilización de las técnicas de imagen virtual, que abren perspectivas totalmente nuevas de reconstitución y, por lo tanto, de simulación de la realidad.

Hoy en día también se efectúa una reflexión ética sobre el inmenso poder de influencia intelectual y moral que, a escala planetaria, ejerce la comunicación audiovisual. Al superar las limitaciones de tiempo y distancia, es algo tan revolucionario como lo fue en su tiempo la invención de la imprenta.

La libertad de comunicación, ejercida respetando el pluralismo y el imperativo de honestidad en la presentación de la información, es más que una ventaja para la democracia: es uno de sus fundamentos. Pero la extrema difusión de los medios de comunicación conlleva dos escollos: por un lado, la información puede volverse insustancial, por otro y sobre todo, se corre el riesgo de normalización y hasta de manipulación de la opinión. Ni más ni menos que cualquier otra actividad, la científica, sometida a una creciente influencia de los medios de comunicación, no escapa a esos peligros. Por lo tanto, incumbe a los investigadores la responsabilidad social específica de comunicar al público los resultados de sus trabajos y prevenirlo sobre las posibles consecuencias en la materia (Comité Consultivo Nacional Francés de Ética, 1994).

El primer deber que se imponen los investigadores a este respecto es el de plegarse a las exigencias del rigor y la prudencia que son inherentes a la dignidad y nobleza de su arte. Comunicar sólo los resultados que hayan cumplido con los procedimientos indispensables de evaluación y validación es una condición elemental de la ética profesional de la investigación. Ahora bien, existe siempre la tentación de hacer una comunicación prematura y hasta discutible, teniendo en cuenta las posibles repercusiones mediáticas y financieras.

La ética, que surge de la toma de conciencia del alcance planetario de los desafíos de la ciencia, no se limita ya a un movimiento de ideas. Se ha creado una institucionalización que se concreta en el establecimiento de instancias éticas específicas. Además, se produce un desplazamiento de «la ética al derecho». Se multiplican las legislaciones nacionales y las tomas de posición internacionales, que son la manifestación del empeño en redefinir los medios de proteger los derechos humanos frente a los retos de las ciencias y las técnicas.

La ética de la ciencia, los científicos y la sociedad

Dada su resonancia psicológica y mediática, la «moratoria de Azilomar» suele considerarse uno de los primeros signos del compromiso de los científicos en el debate bioético.

No obstante, la sensibilidad ética de los investigadores ya se había manifestado en otras ocasiones antes de 1975. Diversas iniciativas más permanentes dan testimonio de la sensibilización de la comunidad científica a las preocupaciones y aspiraciones de los ciudadanos.

En el siglo pasado, los científicos buscaban esencialmente promover sus disciplinas y facilitar la vulgarización con miras a ganar la adhesión del público. Esta tónica guió, por ejemplo, la creación en Inglaterra, en 1831, de la British Association for the Advancement of Science, seguida en 1848 por el establecimiento de una asociación homóloga en los Estados Unidos.

En la actualidad, los investigadores se organizan más en el plano internacional que nacional y lo hacen con una óptica un poco diferente de la de las sociedades científicas del siglo XIX. El objetivo ya no es sólo fomentar el desarrollo de las ciencias y las técnicas; se trata, al mismo tiempo, de reflexionar sobre las incidencias del progreso en la sociedad y de dar a conocer, según haga falta, la opinión de la comunidad científica sobre algún aspecto determinado.

De este modo, se crearon en el mundo numerosos organismos de concertación y cooperación. Además se crean otros continuamente; sería largo enumerarlos. Algunos son organizaciones no gubernamentales, como el Consejo Internacional de Uniones Científicas (CIUC), o el CIOMS (que se encuentra en la Organización Mundial de la Salud). También hay que nombrar al Movimiento Universal por la Responsabilidad Científica (MURS) animado por Jean Dausset, premio Nobel, quien ha hecho adelantar en gran medida la reflexión ética sobre la ciencia.

El interés de estos organismos es doble: por un lado, son lugares de intercambios pluridisciplinarios, indispensables porque permiten franquear las fronteras entre las diferentes culturas científicas; por otro, las reflexiones que allí se

originan, al hacerse públicas, fomentan la democratización del debate ético.

El fenómeno sociológico más original es, empero, la creación de *comités de ética* en un número creciente de países.

A partir de los años sesenta, estos comités se crearon al comienzo de manera casi espontánea, esencialmente en el campo de las ciencias de la vida y la salud, en los centros de investigación o en los hospitales.

Después se oficializó su existencia. Francia fue el primer país que creó en 1983 un comité consultivo nacional de ética para las ciencias de la vida y la salud. Desde entonces, éste sirvió de modelo a otros países de Europa y, más adelante, a otros continentes.

En efecto, si nos remitimos a la encuesta efectuada en 1994 por la Unidad de Bioética de la UNESCO, existen más de 200 comités nacionales de ética (Kutukdjian, 1994) con estatutos y atribuciones diversas.

Cualesquiera sean sus campos de acción, estos comités para merecer el calificativo de «éticos» deben cumplir por lo menos dos condiciones: ser pluridisciplinarios y pluralistas al asociar a representantes de las ciencias denominadas «exactas» y de las ciencias humanas, así como a representantes de diversas corrientes filosóficas; ser independientes con respecto al poder político y al poder económico, ya que la ética debe fundarse necesariamente en una libre confrontación de las opiniones y los conocimientos (Ambroselli, 1990; Le Bris, 1993). Las opiniones y recomendaciones de los comités de ética, cuyas atribuciones son en general consultivas, no tratan de aportar soluciones definitivas a los problemas éticos. Por definición, el debate ético se renueva al nutrirse con los problemas planteados por las nuevas situaciones que genera la ciencia.

Ni comité de colegas, ni comité de expertos, los comités de ética no son, con mayor motivo, centros de decisión, puesto que esto incumbe a los responsables políticos. Pero los comités de ética estudian las alternativas entre las que habrá que escoger. Asimismo, uno de los fundamentos de su legitimidad es garantizar la transparencia del debate ético.

La fórmula del «comité de ética» no se limita a la esfera nacional; en efecto, éstos existen también en el plano internacional.

Uno de estos comités funciona en el marco de la Unión Europea: se trata del Grupo de Consejeros para la Ética en la Biotecnología (GCEB), representado en la Comisión de Bruselas. Creado en 1991, cuenta con nueve miembros, todos de distinta nacionalidad, que pertenecen a disciplinas científicas, jurídicas y filosóficas. Su labor consiste en identificar los interrogantes éticos planteados por las tecnologías de la materia viva, para que éstos se tengan en consideración en los proyectos de ley que se ocupan de las distintas áreas de competencia de la Unión Europea (agricultura, salud, alimentación, industria, medio ambiente, protección del consumidor, etc.).

El segundo comité internacional de ética, el único de alcance universal, es el Comité Internacional de Bioética (CIB) creado por la UNESCO en 1992 por iniciativa del Director General de la Organización, Federico Mayor.

Único en su género, el CIB es un centro de intercambio de ideas e informaciones y un lugar de encuentro «Norte/Sur». Sus 50 miembros pertenecen a 35 nacionalidades y representan disciplinas muy diversas. Junto a científicos, juristas, filósofos, sociólogos, colaboran demógrafos, antropólogos, especialistas en nutrición; todas estas especialidades interesan a los países del Sur.

A diferencia del GCEB, el CIB no emite opiniones sobre asuntos específicos. Cada una de sus reuniones plenarios anuales se celebra en la sede de la UNESCO, con la presencia de un público escogido y de la prensa, y tiende solamente a informar, desde un punto de vista prospectivo, sobre la situación de la investigación genética en el mundo y sus aplicaciones derivadas: terapia genética, pruebas genéticas, neurociencias, consejo genético...

La misión esencial del CIB es, empero, de índole jurídica. Se basa en el mandato asignado al Director General por una Resolución de 15 de noviembre de 1993 de la Conferencia General de los Estados Miembros de la UNESCO, que preveía la preparación «de un instrumento internacional para la protección del genoma humano».

La ética de la ciencia
y los principios universales
de los derechos humanos

La ética, aun si supone un planteamiento permanente, no se limita a una conducta. Como su objetivo es «guiar las acciones humanas», lleva irremediamente a los principios que fundamentan los derechos humanos. ¿Cuáles son esos principios?

En primer lugar, sean cuales fueren las potencialidades de la ciencia, hay que preservar el respeto de la dignidad de la persona y su libertad, elemento esencial de dicha dignidad.

La segunda idea clave, fundada en el principio de responsabilidad, es la protección de la humanidad, amenazada por los propios seres humanos. Tratar de minimizar los riesgos tecnológicos se ha convertido en un imperativo ético.

La tercera exigencia ética se refiere a las relaciones entre la ciencia y el poder, sea político, económico o religioso. Si los científicos, consultados en su calidad de expertos, no deben tratar de reemplazar al poder, del mismo modo, éste debe respetar y garantizar la autonomía de la investigación, y también la libertad de pensamiento. Cabe reafirmarlo de manera solemne a la luz del pasado, que ofrece varios ejemplos de infracciones a estas normas de conducta. Efectivamente, el poder puede sentirse inclinado a defender su hegemonía declarando nulos y sin valor determinados descubrimientos, como en el caso de las tesis copernicanas condenadas en 1616. O bien, inversamente, puede pretender explotar la ciencia para reforzar sus bases ideológicas, como en los extravíos de la «biología proletaria» influenciada por el soviético Lyssenko en los años cincuenta.

Éstos son los tres principios que pueden fundamentar la ética de la ciencia: respeto de la dignidad de la persona y su libertad; prevención de los riesgos tecnológicos de los que depende el futuro de la humanidad; preservación de la libertad de creación científica.

Por último, no es posible hablar de la ética de la ciencia sin enunciar un cuarto principio fundamental: la solidaridad intelectual y moral de la humanidad a la que se

alude en el Preámbulo de la Constitución de la UNESCO. En efecto, no se puede ya tolerar que las ventajas del progreso sólo beneficien a las clases o los países más ricos. Compartir los conocimientos científicos es una condición para que los países puedan lograr un desarrollo sostenible y que todos los hombres gocen de condiciones de vida dignas. Como señaló el Director General de la UNESCO, Federico Mayor, en el discurso que pronunció en el Comité Internacional de Bioética, en septiembre de 1994, «...el progreso científico, los conocimientos son universales, por esta razón deberían ser considerados patrimonio común y, en consecuencia, compartidos de manera igualitaria».

Es en el campo de las ciencias de la vida donde el proyecto ético parece haber avanzado más. La genética despierta grandes esperanzas con respecto a las posibilidades de erradicar las enfermedades importantes de este siglo; pero, al mismo tiempo, genera el temor de que se ponga en peligro la especie humana y su medio ambiente. Gracias a la ingeniería genética el ser humano se convierte en «ingeniero del hombre», para utilizar la fórmula de M. Bedjaoui, miembro del CIB de la UNESCO.

Esta doble problemática condujo a la adopción de numerosas leyes relacionadas con la ética de la biomedicina, en Europa, Estados Unidos y América Latina (Brasil). Un proyecto de convención-marco de bioética, elaborado por el Consejo de Europa, se dio a conocer a principios de 1994. Todos esos textos se refieren a las aplicaciones médicas de la biología y la genética. Progresivamente se completan con textos de alcance más general sobre la investigación en genética que fijan las normas de seguridad a las que deben ajustarse la utilización restringida o la difusión voluntaria de organismos genéticamente modificados (OGM) (reglamentaciones nacionales, directrices europeas).

Las Naciones Unidas han ratificado solemnemente la relación de la ética con los derechos humanos. En la Conferencia de Viena, en junio de 1993, esa Organización instó a los Estados a velar por el respeto de los derechos y la dignidad humana en el campo de las ciencias de la vida y de las ciencias biomédicas. Con anterioridad, las Naciones

Unidas se habían preocupado por la preservación de la variedad de especies vivas al aprobar el Convenio sobre la Diversidad Biológica (Río de Janeiro, 6 de junio de 1992). Por su parte, la OMS tiene planeado lanzar un programa «ética y salud». La Unión Interparlamentaria, por último, incluyó en el orden del día de su reunión de marzo de 1995 la cuestión de la relación entre la bioética y los derechos humanos.

El CIB, en conformidad con su mandato definido por la UNESCO en noviembre de 1993, se dedica a preparar el primer instrumento internacional de alcance universal «sobre la protección del genoma humano».

El proyecto de declaración establecido en marzo de 1993 por la comisión jurídica del CIB, dirigida por el embajador Héctor Gros Espiell, se sometió, en el transcurso de 1995, a una amplia consulta de carácter oficioso entre organizaciones internacionales –gubernamentales y no gubernamentales–, grandes universidades y numerosos comités de ética.

Este procedimiento responde a la preocupación de hacer que el futuro texto sea un instrumento de diálogo entre las culturas del mundo.

Pero el principal aporte del proyecto de declaración es el de situar al genoma humano en el «patrimonio común de la humanidad». Con esto la humanidad, así como los derechos de las personas que la componen, se erigen en sujetos de derecho internacional. Siguiendo este tenor, el texto reafirma los derechos de la persona a la preservación de su dignidad y libertad. Niega en especial toda discriminación basada en las características genéticas y expresa entre líneas el rechazo de toda reducción que pretendiera resumir la personalidad de cada uno por su componente genético. El hombre no es «todo genes», escribió el biólogo francés François Gros.

El código de Nuremberg, redactado en 1947 por la Asociación Médica Mundial, después de la revelación de las «experiencias» realizadas por los nazis en seres humanos, fue el primer documento internacional que afirmó que el hombre no puede ser simplemente un objeto para la ciencia. Del mismo modo, el proyecto llama la atención sobre la obligación de obtener el consentimiento de

la persona antes de que se practique una investigación sobre ella.

El proyecto de declaración enuncia finalmente otros dos principios que corresponden a derechos culturales y sociales:

- La libertad de creación científica excluye en particular la posibilidad, por lo demás ilusoria, de autorizar sólo las investigaciones capaces *a priori* de culminar en aplicaciones útiles para el hombre.
- El derecho de cada uno de gozar de los beneficios de los progresos de la genética. Este derecho, que está lejos de ser una realidad, se basa en la igualdad, que la evolución mundial exige más que nunca mantener como objetivo.

Estos principios diversos, primeros jalones de una ética internacional, pueden transponerse a otros campos que no sean las ciencias de la vida, puesto que el objetivo de la ética no es la ciencia en sí, sino el ser humano y, más allá del ser humano, la especie humana.

La ética de la ciencia tiene aún que superar sus contradicciones:

- Conciliar el respeto del pluralismo cultural y el carácter necesariamente universal de los derechos humanos.
- Brindar a la sociedad moderna los medios de velar por la prevención de los riesgos relacionados con las innovaciones tecnológicas sin restringir la libertad de investigación.
- Tener en cuenta las condiciones económicas de una investigación que cuesta cada vez más, preservando la libre circulación de la información científica y la difusión de la cultura científica en todo el mundo.
- Reconocer la responsabilidad social especial de los investigadores sin dejar de fundamentar en el derecho el principio de la responsabilidad de la sociedad en su conjunto.

«Nuestro patrimonio no está precedido por un testamento», dijo el poeta francés René Char.

La dignidad del hombre depende de la conciencia que éste tiene de sus responsabilidades y la ética de la ciencia, expresión de esta toma de conciencia, es uno de los primeros deberes de la humanidad.

Noëlle Lenoir se graduó en estudios superiores en derecho público y estudió en el Instituto de Ciencias Políticas de París, y fue la primera mujer nombrada en el Consejo Constitucional de Francia, donde sigue prestando sus servicios. En el pasado, desempeñó el papel de administradora principal del Senado (1972-1982), directora de la Reglamentación en la Comisión Nacional de la Informática y de las Libertades (1982-1984), relatora en el Consejo de Estado de Francia (desde 1984), directora del Gabinete del Ministro de la Justicia (1988-1990) y encargada de asuntos sobre el derecho a la bioética y las ciencias de la vida (1990-1991) en el Gabinete del Primer Ministro.

La señora Lenoir es presidenta del Comité Internacional de Bioética de la UNESCO (CIB) desde su creación en 1993, y presidenta del Grupo de Consejeros para la Ética en la Biotecnología de la Comisión Europea. Es autora de *Aux frontières de la vie: une éthique biomédicale à la française*, publicada en 1991.

BIBLIOGRAFÍA

- Academia de ciencias (1995) *La brevetabilité du génome*, Informe n.º 132 (Febrero), París.
- Ambroselli, C. (1990) *Le comité d'éthique*. Colección Que sais-je?, París, PUF.
- Arendt, H. (1992) *La crise de la culture*, París, Gallimard.
- Atlan, H. (1986) *A tort et à raison. Intercritique de la rationalité et du mythe*, París, Le Seuil.
- Bedjaoui, M. (1995) *Le génome humain, comme patrimoine commun de l'Humanité ou la génétique de la peur à l'espérance*, en Federico Mayor, *Amicorum Liber*, Volumen II. Bruselas, Ed. Bruylant.
- Brody, E. (1993) *Biomedical Technology and Human Rights*, París: UNESCO Publishing/aldershot, UK: Dartmouth Publishing.
- Carrington Coutts, M. (1991) *Basic Resources in Bioethics*, Washington D.C.: Georgetown University, National Reference Centre for Bioethics Literature.
- Changeux, J. P. (1984) *L'homme neuronal*, París, Fayard.
- (1995) *Penser la bioéthique: un débat philosophique*, en Federico Mayor, *Amicorum Liber*, Volumen II. Bruselas, Ed. Bruylant.
- Comité Consultivo Nacional Francés de Ética (1994), París, La Documentation française.
- Dagognet, F. (1988) *La maîtrise du vivant*, París. Hachette/UNESCO/Institut international de philosophie.
- Dausset, J., Dulbecco, R., Galjaard, H., Suleiman, E. N. y Kutukdjian, G. B. (1994) «Nacer o no nacer. ¿Tenemos derecho a manipular la vida?», En *El Correo de la UNESCO*, Septiembre 1994.
- Engelhart, H. T. Jr. (1991) *Bioethics and secular humanism: the search for a common morality*, Valley Forge, PA, Trinity Press International.
- Fagot-Largeault, A. (1985) *L'homme bio-éthique: pour une déontologie de la recherche sur le vivant*, París, Maloine.
- Gros, F. (1988) Les progrès de la biologie contemporaine, *Diogène*, 142.
- (1993) *Regard sur la biologie contemporaine*. París, Gallimard/UNESCO.
- Habermas, J. (1983) *Morale et communication: conscience morale et activité communicationnelle*, París, Le Cerf.
- (1988) *Le discours philosophique de la modernité*, París, Gallimard.
- Jonas, H. (1990) *Le principe responsabilité*, París, Le Cerf.
- Jordan, B. (1993) *Voyage autour du génome: le tour du monde en 80 labos*, París, John Libbey Eurotext/INSERM.
- Kutukdjian, G. (1994) «Comités nacionales de ética: observatorios en el mundo entero». En *El Correo de la UNESCO*, Septiembre 1994.
- Le Bris, S. (1993) *Study of European Ethics Committees for the Council of Europe*, Council of Europe Occasional Paper.
- Le Noir N. y Sturlèse, B. (1991) *Aux frontières de la vie: une éthique biomédicale à la française*, Informe al Primer Ministro, París, La Documentation française.
- Lévi-Strauss, C. (1952) *Raza e historia*, París, UNESCO.
- Levinas, E. (1982) *Éthique et infini*, París, Fayard.
- Mayor, F., Fall, I., Bessis, S., Bernard, A., Darbishire, H., Nowak, M., Hessel, S., Fournier, F. y Mock, A. (1994) «Derechos humanos - Una larga marcha». En *El Correo de la UNESCO*, Marzo 1994.
- Meyer, G. R. (1991) *Bioethics in education*, París. Unión Internacional de Ciencias Biológicas.
- Moulin, M. (1990) *Contrôler la science? La question des comités d'éthique*, Bruselas, De Boeck-Wesmael.
- Rawls, J. (1987) *Théorie de la justice*, París, Le Seuil.
- Ribes, B. (1978) *Biología y ética*, París, UNESCO.
- Ruffié, J. 1976. *De la biologie à la culture*, París, Flammarion.
- Russ, J. (1994) *La pensée éthique contemporaine*. Colección Que sais-je? París, PUF.
- Thomas, J.-P., Mehertens, H., Lecourt, D., Larbi Bouguerra, M., Dessus, B., Rabinow, P., Nouvel, P., Châtelet, G. y Legendre, P. (1995) «Au nom de la science». *Revue des deux mondes*, Febrero 1995.
- Weber, M. (1979) *Le savant et le politique*, París. Union générale d'éditions.
- Wigner, E. P., Tinbergen, J., Natta, G., Burnet, F. M., Szent-Györgyi, A. y Cassin, R. (1972) «Des prix nobels méditent sur la science», *Impact, Science et société*, vol. XXII (4).

La macrociencia

J. THOMAS RATCHFORD Y UMBERTO COLOMBO

Los gobiernos, las empresas y otras entidades invierten recursos sustanciales en investigación científica. En décadas recientes, esta inversión ha aumentado a ritmo exponencial. Las inversiones globales en investigación y desarrollo oscilan entre el 2 y el 3 % del producto nacional bruto en la mayoría de grandes países industrializados.

En los últimos años los proyectos de investigación de grandes dimensiones han absorbido una proporción cada vez mayor de los presupuestos de investigación, sobre todo de los presupuestos gubernamentales de investigación. Esto no es de sorprender. A medida que vamos aprendiendo más acerca de las funciones del universo, los restantes secretos de la naturaleza son cada vez más complejos, sutiles y ocultos. Cada vez se requieren proyectos de investigación más grandes y más costosos para descubrir por lo menos una parte de estos secretos. No es una cuestión de mera satisfacción de la curiosidad humana, sino que los conocimientos adquiridos podrán revelar la solución de algunos de los problemas más apremiantes que afectan a la humanidad en generaciones futuras. Cabe citar como ejemplos la necesidad de superar el calentamiento del planeta, sin dejar de satisfacer las crecientes necesidades de energía, y el ingente esfuerzo necesario para vencer el problema en aumento de epidemias relacionadas con el comportamiento, por ejemplo el sida, que no se pueden controlar con simples cambios higiénicos o sanitarios.

Destaca en este panorama la posibilidad de que los científicos se encuentren con una reducción drástica de fondos en un futuro previsible. Los macroproyectos de ciencia y tecnología que requieren gran cantidad de capital son especialmente vulnerables. En una época de recursos escasos, esos proyectos son juzgados cada vez más por sus costos, por la cantidad de puestos de trabajo que puedan generar, o por su contribución a la competitividad económica y su contribución directa a las demandas de la sociedad, y no tanto por su validez científica. Este cambio de enfoque puede significar que, debido a la escala de tiempo que requiere la gran ciencia, varios macroproyectos actuales, heredados de la «edad de oro» pasada de la ciencia, puedan verse sometidos a un examen cada vez más riguroso. Algunas autoridades estarían dispuestas a admitir

¿Hay presupuesto de ciencias?

Muchos científicos creen firmemente que hay «presupuesto de ciencias» y que todos los proyectos de investigación compiten entre sí por una parte del presupuesto. Los mismos científicos temen que nuevos macroproyectos capten fondos de otros campos de la ciencia en lo que esencialmente resulta un juego de resultado cero.

Lo más probable es que cada macroproyecto se justifique por separado y cuente con diferentes apoyos políticos. Los fondos para macroproyectos del pasado probablemente no provenían de presupuestos de investigación y desarrollo existentes sino que se añadían a ellos. Cuando se han cancelado macroproyectos antes de su terminación, como sucedió en 1994 con el Supercolisionador de Partículas Superconductor (*Superconducting Supercollider*) en Estados Unidos, los fondos no gastados se perdieron para la investigación.

Hubert Curien, Presidente del Consejo del CERN y ex Ministro de Ciencias de Francia, resumió este punto de vista en una conferencia celebrada en 1994 sobre grandes instalaciones de física, cuando dijo: «Algunos científicos piensan lógicamente que con el mismo dinero se podrían hacer muchas otras cosas. El problema es que uno nunca tendrá el mismo dinero. Si el dinero no se gasta en un campo de la ciencia, no hay esperanza de transferirlo a otro.»

La cuestión importante es saber si el futuro será como el pasado. La respuesta no está clara, porque los gobiernos se ven enfrentados a una mayor presión presupuestaria que en cualquier otro momento de por lo menos las dos últimas generaciones. La cooperación internacional en macrociencia puede considerarse de hecho una manera de racionar fondos para grandes proyectos de ciencia en un periodo de austeridad.

que si esto significa disminuir el ritmo del progreso científico, habrá que aceptarlo, lo que deja amplio campo a la politización de la ciencia y a la función de los grupos de intereses científicos y de otra índole. Al mismo tiempo, en muchos campos de la ciencia, las restricciones nacionales

de financiación están suscitando cada vez un mayor interés en la esfera de la cooperación internacional.

La proliferación de proyectos de investigación de gran escala cada vez más caros ha creado divisiones entre la comunidad científica en los últimos años. Los que defienden los presupuestos pequeños han desafiado a los que defienden los grandes presupuestos de ciencia, con el argumento de que los beneficios económicos provienen de manera más natural de los proyectos pequeños. Además, algunas disciplinas científicas, como la física de la alta energía y la astronomía, dependen mucho más de proyectos de investigación de gran escala que otros como la física de la materia condensada, la química orgánica o la biología molecular. Esto ha llevado a los investigadores de algunos campos de la ciencia a sostener que los grandes proyectos científicos se financian a expensas de ellos.

No siempre es fácil determinar qué es grande o pequeño hablando de ciencia. Por ejemplo macroproyectos como los de fuentes de luz del sincrotrón se usan para apoyar pequeños proyectos científicos realizados por gran cantidad de investigadores individuales. Se trata de saber si esas facilidades deberían asignarse a grandes o a pequeños proyectos.

El concepto de «presupuesto de ciencia» o «presupuesto de investigación» es fundamental para la cuestión de saber de dónde provienen los fondos para los grandes proyectos científicos. Hay que saber si los gobiernos tienen un presupuesto fijo de ciencias, y si la financiación prevista de los grandes proyectos pasaría a proyectos pequeños en caso de que se cancelaran los grandes.

¿QUÉ ES LA MACROCIENCIA?

Con el término de «macrociencia», este capítulo se refiere a proyectos o programas muy grandes, predominantemente de investigación científica básica. Los grandes proyectos de tecnología, como la estación espacial, no se incluyen por no ser ante todo empresas de investigación básica. Como algunos proyectos de macrociencia (macroproyectos) exigen desarrollar y aplicar aparatos muy caros y tecnológicamente muy elaborados, la distinción no siempre

es fácil. Por ejemplo, un macroproyecto mayoritariamente tecnológico, el Reactor Termonuclear Experimental Internacional (RTEI), se halla en la frontera entre la tecnología y la ciencia porque todavía hay que demostrar científicamente la viabilidad de la fusión termonuclear controlada sostenida. El RTEI vincula los cuatro principales esfuerzos mundiales de investigación termonuclear: los de Estados Unidos y Canadá, la Unión Europea, Japón y Rusia.

En este capítulo la palabra «macrociencia» no se refiere necesariamente a laboratorios grandes e integrados, como el Laboratorio Nacional de Brookhaven o uno de los Institutos Max Planck. Ciertamente, la escala de investigación de estos laboratorios es igual a la de muchos macroproyectos, pero les falta la coherencia y los objetivos unívocos de los verdaderos macroproyectos.

Nos referiremos a dos clases fundamentalmente diferentes de macroproyectos:

- macroproyectos de instalación central, como el telescopio espacial y la Instalación Europea de Radiación de Sincrotrón, y
- macroproyectos de instalación dispersa, como los diferentes programas interconectados de investigación del cambio global, coordinados por el Grupo Internacional de Organismos de Financiación de investigación sobre el cambio mundial (IGFA) y el proyecto sobre el genoma humano.

Macroproyectos de instalación central

Los macroproyectos de instalaciones centrales son fáciles de comprender. Se pueden identificar por su localización geográfica y requieren una inversión sustancial de capital. Las instalaciones espaciales tienen diferencias obvias, tales como la localización, pero el principio es el mismo.

Estos proyectos de instalación central pueden estar dedicados a un experimento determinado o a grupos de experimentos en una disciplina circunscrita, como puede ser el caso de un acelerador de partículas. Inversamente, los macroproyectos de instalación central pueden consistir en instrumentos especiales, como fuentes de luz de sincrotrón y fuentes de neutrones utilizadas ampliamente por investigadores en campos tradicionales de pequeños

proyectos científicos, como la física de la materia condensada y otras disciplinas como la química y las ciencias médicas.

Los datos

Los datos son el aglutinante de los macroproyectos dispersos. Son un componente cada vez mayor de esos esfuerzos, y a veces se miden en terabytes. La reunión, administración, evaluación y distribución efectiva de los datos es esencial para el éxito de esos macroproyectos. Entre los desafíos que se plantean para el futuro están la normalización y el control de calidad de los datos reunidos y procesados, y la garantía de acceso de los investigadores calificados de todo el mundo.

Macroproyectos de instalación dispersa

Como su nombre indica, los proyectos de instalación dispersa no están asociados con una localización geográfica dada, sino que en ellos participan científicos de muchas instituciones y muchos lugares, y los recursos financieros provienen frecuentemente de una variedad de fuentes. Puede haber investigadores de muchos campos de la ciencia, como sucede en los diferentes programas de investigación sobre el cambio mundial global.

¿Cómo se distingue un macroproyecto de instalación dispersa de las tareas de investigación en un campo o un subcampo de la ciencia? En primer lugar, la investigación está focalizada y tiene algún objetivo científico o social. Ejemplos de ello son la caracterización del genoma humano o la medición y comprensión del cambio del clima mundial. Además, generalmente, hay uno o más grupos de coordinación de la investigación. Estos grupos pueden ser o no gubernamentales y pueden ocuparse de temas científicos y de financiamiento. Muchos, si no la mayoría, de los macroproyectos dispersos también necesitan alguna capacidad de administración centralizada de datos de modo que los resultados de los diferentes experimentos se

reúnan, archiven y pongan a disposición de las comunidades científicas y políticas mundiales de forma eficiente.

No siempre es fácil clasificar los macroproyectos en la categoría de instalación central o de instalación dispersa. La oceanografía suele considerarse dentro de la categoría de instalación dispersa, aunque los barcos que toman muestras cada vez parecen más instalaciones de macrociencia a medida que aumentan los costos de una generación de buques a la siguiente. Incluso en el caso de los aceleradores de partículas, quizás los macroproyectos más puros de instalación central, un variado conjunto, frecuentemente internacional, de usuarios corre con parte sustancial de los gastos, ya que en realidad ellos efectúan los experimentos y suministran gran parte de los aparatos experimentales.

LA EXPANSIÓN DE LA MACROCIENCIA

La macrociencia no es un fenómeno completamente moderno. En el siglo XVI, el gran observatorio astronómico de Tycho Brahe, financiado por la monarquía danesa, fue un macroproyecto científico de su época. La inversión ciertamente dio dividendos, aunque no necesariamente para la monarquía danesa. El trabajo del ayudante de Brahe, Johannes Kepler, sirvió de base para desarrollar la visión del mundo de Newton, que había de dominar la ciencia durante más de 300 años.

En Estados Unidos, quizás el proyecto macrocientífico más antiguo coronado por el éxito fue la expedición de Lewis y Clark, a comienzos del siglo XIX. Más de un siglo después, Ernest Lawrence concibió una máquina que dividiría los átomos e investigaría el núcleo. En su momento, el ciclotrón de Lawrence también consumió gran cantidad de capital y fondos de explotación.

Como consecuencia de la Segunda Guerra Mundial no sólo cambió la relación entre gobierno y ciencias sino que además se allegaron por primera vez los recursos necesarios para un verdadero macroproyecto. Aunque se podría discutir ociosamente si era un proyecto científico o un proyecto tecnológico, el Proyecto Manhattan expandió ciertamente las fronteras de la ciencia básica. Su dimensión no

tenía precedentes: un costo de 2.000 millones de dólares, cuando el gasto federal total de Estados Unidos en investigación y desarrollo en 1940 fue de, aproximadamente, 70 millones de dólares.

Medición de la macrociencia

No hay reglas comúnmente aceptadas de contabilidad para medir los costos de los macroproyectos o para identificar a este propósito un nivel mínimo de financiamiento necesario para que el proyecto se pueda denominar así. Hay muchas consideraciones, como el costo absoluto, el costo en relación con la financiación oficial de toda la investigación y el desarrollo civiles, o el presupuesto total de la disciplina científica a la que pertenece el macroproyecto. El costo inusualmente alto de esos proyectos constituye una barrera insuperable para que los países pequeños puedan realizarlos a escala nacional. De todos modos va resultando cada vez más difícil, incluso para países más grandes, emprender solos grandes macroproyectos sin cooperación internacional (véase la sección sobre la internacionalización de la macrociencia).

Muchos piensan que la financiación de los macroproyectos ha ido aumentando mucho más rápidamente que la de la investigación general. Por ejemplo, estudios de la Oficina Presupuestaria del Congreso y de la Oficina de Contabilidad General realizados en 1992 sobre la financiación de macroproyectos en los Estados Unidos llegaban a la conclusión de que esos proyectos reducían la financiación de la investigación en otras esferas. Sin embargo, esta conclusión supone que el presupuesto de investigación es fijo, con la capacidad de transferir fondos entre diferentes proyectos o esferas científicas. Probablemente éste no es el caso (véase el recuadro).

¿Qué parte del total del presupuesto de investigación se dedica a macroproyectos? Un análisis del presupuesto de investigación de los Estados Unidos elaborado por el Servicio de Investigación del Congreso muestra que los macroproyectos absorbieron cerca del 10 % del presupuesto federal total de investigación y desarrollo en los ejercicios fiscales 1991-1995. Aunque sus definiciones de macroproyectos son algo diferentes de las que utilizan los auto-

res de este capítulo, la comparación es útil para estimar el efecto de esos proyectos en los presupuestos de investigación. Si examinamos los siete macroproyectos civiles identificados por el Servicio de Investigación y comparamos los presupuestos de estos proyectos con el presupuesto total de investigación básica del país, la proporción es del orden del 15 %. Una estimación razonable es que los macroproyectos absorben entre el 10 y el 20 % del total del presupuesto federal de investigación de los Estados Unidos.

¿POR QUÉ LOS GOBIERNOS APOYAN LOS MACROPROYECTOS?

Los gobiernos apoyan los macroproyectos por muchas razones. En el pasado remoto eran importantes los caprichos de emperadores y reyes. Las economías mercantilistas suscitaron la exploración geográfica y las expediciones científicas. En años más recientes han sido primordiales las consideraciones de seguridad nacional, por lo menos hasta el final de la guerra fría. Sin embargo, las modas científicas siguen teniendo mucha vigencia hoy todavía. La moda puede no influir ya en la opinión al modo de Versalles o Viena, pero todavía ayuda a explicar el entusiasmo por financiar algunas áreas que son las preferidas de los medios de información. El poder de los grupos de presión para tratar de obtener fondos con destino a determinados objetivos puede superar cualquier justificación científica racional de la alta prioridad asignada. En forma similar, los cambios de moda pueden alterar súbitamente nociones aceptadas anteriormente sobre la utilidad de macroproyectos y conducir a la reducción de sus presupuestos, como ha sucedido con la investigación espacial.

Hoy en día, los argumentos en apoyo de los macroproyectos suelen tener su origen en la subdisciplina de que se trate y se basan en consideraciones científicas. Suelen invocarse razones de prestigio nacional o motivaciones políticas y económicas para apoyar la justificación científica. Los argumentos económicos van desde el corto plazo (gastos directos) hasta el largo plazo (fortalecimiento de la educación, industrias de alta tecnología, competitividad económica internacional).

No hay duda de que la macrociencia aumenta el acervo mundial de conocimientos y aporta los beneficios intelectuales, educativos y económicos en general asociados a ella. Algunos estudios académicos indican la posibilidad de que el beneficio social obtenido de la investigación de esta clase sea alto, aunque los beneficios a largo plazo probablemente sean mundiales, no locales o nacionales, como dijimos con respecto al observatorio de Brahe. Los beneficios «privados», o inclusive «nacionales», de vasto alcance son más difíciles de identificar, y cuando lo son, muy frecuentemente resultan ser beneficios indirectos, como los relacionados con la educación.

La función de los científicos

Como cabe esperar, los científicos que trabajan en la esfera de investigación de que se trata son los que más probablemente apoyen un macroproyecto. Las propuestas de nuevos macroproyectos provienen de los científicos, generalmente de grupos formales o informales ajenos al gobierno. Pueden referirse a los desafíos científicos más fascinantes en el campo de que se trate y en algunos casos surgen de los esfuerzos por hacer prioritarias esferas de investigación patrocinadas por organismos científicos prestigiosos. Algunos de estos grupos son internacionales y en las propuestas pueden incluir diversas iniciativas nacionales. Algunas propuestas provienen de entidades internacionales que se responsabilizarían del macroproyecto.

No hay una fórmula rígida para obtener apoyo con miras a un posible macroproyecto. La vía más corriente es que el grupo de científicos interesados presente sus ideas al organismo nacional o de investigación que sea la principal fuente de financiación en el campo de investigación de que se trate. Puede que se suministre financiación inicial para un estudio de viabilidad. Las estimaciones de costos y la selección del emplazamiento o del contratista son decisivas para seguir adelante. El organismo toma la decisión y, en el caso de macroproyectos verdaderamente grandes (presupuestos que constituyen una parte significativa del presupuesto total de investigación y desarrollo del organismo a cuyo campo científico pertenece el macropro-

yecto), debe ser aprobada a niveles más altos de gobierno. Con cierta frecuencia se hacen estimaciones bajas de los costos de construcción, técnica que en inglés se suele denominar «estrategia de la nariz del camello debajo de la tienda». El optimismo excesivo y a veces interesado de los que apoyan un determinado macroproyecto puede conseguir su aprobación inicial, pero una acumulación de exceso de costos y retrasos en la construcción se convierte pronto en un bumerang que a su vez siembra dudas sobre la credibilidad de futuros proyectos, inclusive en otros campos de la ciencia. Este problema se complica por el hecho de que los macroproyectos presupuestados son difíciles de parar. Cualquier decisión en este sentido se toma con muchísima angustia y con dolor.

Los científicos han sobrepasado en los últimos años las murallas de la comunidad científica y de los organismos de investigación interesados en el apoyo de macroproyectos específicos. En Estados Unidos, son frecuentes los esfuerzos de presión ante el Congreso y de relaciones públicas cada vez más agresivas. En otros sitios, la situación no es mucho mejor. En el Japón y en Europa, los grupos de presión que apoyan determinados macroproyectos de presupuesto alto pueden doblegar la opinión preocupada de las autoridades y de la mayoría de científicos de la esfera de que se trate.

Cambiar las actitudes nacionales

Tradicionalmente, los macroproyectos han sido iniciativas nacionales. Se disponía ampliamente de información sobre los macroproyectos planeados, cuyo costo total compartían los diferentes países o grupos de países que financiaban sus propias iniciativas. Las reglas de acceso de los científicos a las instalaciones en general se basaban en los méritos, y los usuarios sólo pagaban los costos de sus experimentos. En pocos casos se ha demostrado la existencia de discriminación geográfica.

Pero la situación está cambiando. Las razones fundamentales del cambio son diversas. Entre ellas figuran la presencia simultánea de unos costos crecientes de los macroproyectos y el estancamiento o disminución de los presupuestos gubernamentales de investigación y desa-

rollo. Además, el público ha adoptado una actitud de menor apoyo a la ciencia y a la investigación en general. Cada vez se reconocen más las dificultades que tienen los países patrocinadores para aprovechar los beneficios a largo plazo de los macroproyectos. El final de la guerra fría ha alterado la ecuación internacional de investigación y desarrollo reduciendo la eficacia de los argumentos basados en la seguridad para apoyar la preeminencia científica nacional. Al mismo tiempo, se es más favorable al libre acceso, especialmente cuando la instalación no se usa a plena capacidad. Por último, el pragmatismo económico ha reducido la eficacia del argumento del prestigio nacional.

LA INTERNACIONALIZACIÓN DE LA MACROCIENCIA

Durante siglos, la ciencia y la investigación han sido quizás las más internacionales de todas las actividades humanas. Es común que los científicos de las universidades y otras entidades de investigación tengan una colaboración mucho más estrecha con colegas que viven en las antípodas que con los que están en el lado opuesto del corredor.

Esta facilidad de colaboración, ajena a la localización geográfica, se ha vuelto mucho más fácil y menos cara en años recientes, sobre todo desde la Segunda Guerra Mundial, debido al desarrollo tecnológico. Las comunicaciones son instantáneas y casi gratuitas; los viajes son rápidos y menos caros, y los trámites burocráticos a veces no son tan complicados. Se podría sostener que el ambiente para la internacionalización de la investigación es propicio y que la mano invisible del mercado optimiza las actividades de cooperación en materia de investigación.

Tendencias actuales y clima político

Hay pruebas de que aumenta la cooperación en materia de investigación más allá de las fronteras nacionales, en proyectos científicos grandes y pequeños. Ha aumentado el número de acuerdos científicos y tecnológicos bilaterales entre países; está aumentando la autoría compartida de artículos de revistas por científicos de diferentes países; han surgido muchas organizaciones especializadas para

facilitar la cooperación internacional en investigación, algunas de ellas en el sistema de las Naciones Unidas, siendo altamente meritorio el papel de la UNESCO en el desarrollo de la cooperación científica en todo el mundo. Están aumentando los acuerdos cooperativos entre universidades y sociedades científicas y de ingeniería de diferentes países.

Aunque es difícil obtener cifras concretas de presupuestos, la mayoría de observadores creen que la cooperación en proyectos de macrociencia aumenta más rápidamente que respecto de la investigación en general. Europa se coloca claramente en vanguardia, en comparación con América del Norte y el Japón. La cooperación científica en Europa ya se encontraba favorecida por la presencia de agentes relativamente pequeños y por los esfuerzos progresivos que se han estado desarrollando para lograr la unión económica y después política mediante el establecimiento de la Comunidad Europea. Muchas organizaciones intergubernamentales, como el Centro Europeo para la Investigación Nuclear (CERN), el Observatorio Europeo Austral y la Instalación Europea de Radiación de Sincrotrón, ya desempeñan una función importante en la macrociencia europea y mundial.

Si excluimos la contribución decisiva de los científicos extranjeros al Proyecto Manhattan, tanto los Estados Unidos como Japón y Rusia han empezado más recientemente la cooperación internacional en macrociencia. Esto se debió en parte a la escala de los presupuestos de investigación de los Estados Unidos y de los macroproyectos financiados por ellos. Los Estados Unidos y la Unión Soviética, instigados por imperativos de la guerra fría, iniciaron unilateralmente muchos proyectos de macrociencia con el objetivo explícito de dejar atrás al otro. El Japón, con fondos gubernamentales de investigación relativamente bajos y una tradición de investigación económicamente adecuada, sólo recientemente ha llegado al terreno de la macrociencia.

El final de la guerra fría también ha visto cambios en el clima político en lo que se refiere a la macrociencia. Este cambio ha sido mayor en los Estados Unidos, donde la competencia con la antigua Unión Soviética era un pode-

El CERN, ¿un modelo para el futuro?

La idea de centro europeo de investigación nuclear fue lanzada en 1949 por Louis de Broglie, uno de los primeros pioneros de la mecánica cuántica. La idea, que recibió pronto el apoyo de dirigentes científicos como Pierre Auger, Edoardo Amaldi y Francis Perrin, fue adoptada como proyecto de la UNESCO propuesto por Isidor Rabi, cuya Convención se firmó en París en 1953. El Centro Europeo para la Investigación Nuclear (CERN) fue fundado por un tratado de 1954 que desembocó en la construcción de un laboratorio en Meyrin, cerca de Ginebra.

En sus 40 años de existencia, el CERN se ha ampliado de 9 a 19 Estados Miembros. Tiene casi 3.000 funcionarios y recibe a unos 6.000 científicos al año, de centenares de universidades e institutos de investigación de todas partes del mundo, que participan en experimentos de los que los más grandes reúnen cada uno hasta entre 400 y 500 participantes. Su presupuesto anual de casi mil millones de francos suizos está dividido entre los Estados Miembros, generalmente en proporción al producto nacional bruto.

En la última década se obtuvieron cuatro premios Nobel, y cinco galardonados con dicho premio trabajan en el CERN. Su programa de investigación ha evolucionado gracias a muchas «máquinas» de alta energía. Actualmente, el proyecto de gran colisionador de partículas Hacron, alternativa del cancelado proyecto estadounidense de supercolisionador superconductor, está comenzando a ponerse en camino.

El CERN es único en cuanto cuenta con financiación estable a largo plazo en virtud de un tratado fiable. La cuestión con que se enfrenta actualmente es la de cuál sea la mejor manera de asignar los fondos de investigación entre los posibles proyectos, no el tamaño de su presupuesto.

demasiado costosos para los presupuestos estadounidenses de investigación y que la única alternativa es la financiación compartida. Irónicamente, la declaración de este principio por parte del Gobierno estadounidense (no necesariamente su ejecución) fue de lo más directa con respecto al superconductor. Europa y Japón, a diferencia de los Estados Unidos, han tenido menos problemas en el pasado con el principio de financiación compartida de macroproyectos. Una dificultad que probablemente podría dificultar más la internacionalización es la complejidad de los procedimientos presupuestarios estadounidenses, que dificultan garantizar un compromiso respecto a esfuerzos conjuntos de financiación a largo plazo. La reputación de Estados Unidos como «asociado no fiable» seguirá complicando las discusiones internacionales relacionadas con la cooperación en macrociencia.

La política entre las comunidades científicas del mundo es, si se puede decir, más compleja que en la sociedad en general. Los expertos en subcampos de investigación que proponen macroproyectos quieren generalmente que sean proyectos nacionales. Esto se debe a que la función que ellos desempeñarían en calidad de directivos nacionales sería más prominente. Asimismo, para los aspirantes al premio Nobel los macroproyectos nacionales constituyen un punto de partida ventajoso.

Ventajas y desventajas

No es sorprendente que haya al mismo tiempo ventajas y desventajas en la internacionalización de los macroproyectos. Puede haber mayor estabilidad de financiación y economías de escala si los recursos limitados de programas nacionales se combinan en un macroproyecto internacional. Un conjunto intelectual mundial debe tener normalmente más fuerza que diversos conjuntos nacionales que compitan entre sí. En el mundo de la posguerra fría resultan atractivos los argumentos políticos en favor de reunir recursos a fin de aumentar el acervo de conocimientos de la humanidad. Además, la amplia internacionalización de los macroproyectos les permitiría aprovechar el talento científico disponible en países más pequeños y países en desarrollo, ampliando también el contexto en el que se

roso argumento para financiar macroproyectos nacionales de vanguardia. Ahora el Congreso y la Casa Blanca están comenzando a estimar que muchos macroproyectos son

toman las decisiones. Otra ventaja de esta cooperación científica más amplia es el proceso de transferencia de conocimientos y formación en investigación, implícito en dicha actividad.

La internacionalización de los macroproyectos también tiene inconvenientes. En primer lugar, si un macroproyecto específico se administra internacionalmente, es posible que haya estructuras complejas de dirección y administración que sean menos eficientes que si fuesen estructuras nacionales. Las burocracias internacionales son especialmente costosas y difíciles de administrar eficientemente. Aunque la competencia innecesaria puede ser mala, la competencia también puede fomentar la innovación y la eficiencia.

Los esfuerzos, generalmente coronados por el éxito, por internacionalizar macroproyectos en Europa han acarreado ciertas ineficiencias, en gran parte en lo que se refiere a la localización, la contratación y otras asignaciones de sus beneficios económicos entre los países que los apoyan. En esto sin embargo no son los únicos, como muestra la experiencia reciente de los Estados Unidos. En términos del éxito de la internacionalización en Europa, por ejemplo en el caso del CERN, los sobrecostos generales suelen verse más que compensados por el valor añadido al conseguir recursos y un equipo representativo más amplios.

La internacionalización de los macroproyectos no tiene que implicar que cada uno de ellos se gestione como una actividad internacional. Otro enfoque es dividir la responsabilidad con respecto a la construcción y la administración de un macroproyecto entre los diversos países en función de una fórmula convenida justa, con derechos de acceso recíproco. Algunos elementos de este enfoque se han usado en el pasado pero más recientemente se ha hecho énfasis en lo que se va a ganar con lo que se aporta.

Actualmente, gobiernos y directores de investigación de organismos que apoyan la investigación ven otra ventaja en la internacionalización de la macrociencia: los acuerdos internacionales de apoyo de una iniciativa determinada de investigación pueden servir de dispositivo de control presupuestario. Este método sirve para determinar políticamente el nivel de participación en un macroproyecto

concreto, o en un grupo de macroproyectos, dejando a los científicos la tarea de decidir la asignación específica de los fondos. El CERN es un buen ejemplo de este método usado por los europeos.

EL FUTURO

Aunque el pasado siempre ayuda a tener una visión del futuro, en el caso de la internacionalización de macroproyectos es posible que el futuro sea muy diferente de la situación existente desde los años 60. Aunque las restricciones financieras son el principal factor que favorece la cooperación internacional, no son el único motivo.

Los problemas mundiales

En el mundo actual nos enfrentamos a una serie de problemas de carácter global que verdaderamente sólo se pueden resolver mediante esfuerzos concertados para la búsqueda de soluciones mundiales. Ejemplos claros se encuentran en las ciencias ambientales. En primer lugar y ante todo, cabe citar los estudios sobre el cambio climático y el deterioro de la capa de ozono en la atmósfera superior, pero también hay programas conjuntos de perforaciones a grandes profundidades y oceanografía. Están en curso macroproyectos relacionados con algunas de estas cuestiones. Sin embargo, en la esfera clave de la nutrición mundial queda mucho por hacer.

La productividad agrícola ha comenzado a aumentar hasta alcanzarse índices sin precedentes en Asia Meridional y del Sureste. Con el rápido crecimiento demográfico, la necesidad de alimentos sumerge a menudo el llamamiento en pro de la sostenibilidad ambiental. Éxitos científicos del pasado, principalmente la Revolución Verde de los años 60 y 70, están mostrando sus limitaciones. Hay una clara necesidad de enfoques más sostenibles que todavía hay que elaborar. Tenemos que prepararnos para un mundo con una población de entre 10.000 y 12.000 millones de seres humanos, menos de 2.000 millones de los cuales vivirán en el Norte opulento. La macrociencia podría ofrecer la esperanza de evitar la catástrofe. La cooperación internacional concertada en macroproyectos claramente

El RTEI

La idea original de diseñar y construir conjuntamente el primer reactor termonuclear fue propuesta en varias reuniones de alto nivel, comenzando con la de Mitterrand y Gorbachev en París en 1985.

La actual cooperación cuatripartita de la Unión Europea, Japón, Rusia y Estados Unidos en lo que se refiere a un **Reactor Termonuclear Experimental Internacional** (RTEI), emprendida bajo los auspicios del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), es un ejemplo único de colaboración mundial en un gran proyecto científico. El objetivo es producir antes de julio de 1998 el diseño completo de ingeniería del reactor y compartir la investigación y el desarrollo de apoyo. Suiza está plenamente asociada a la Unión Europea, Canadá está participando en la contribución de Estados Unidos, y Kazakstán en la de Rusia.

El objetivo general programático del RTEI es demostrar la viabilidad científica y tecnológica de la energía de fusión con fines pacíficos. Las actividades de diseño de ingeniería del RTEI está previsto que duren seis años con un costo aproximado de 1.200 millones de dólares (compartidos por partes iguales) y que sirva de base adecuada para la decisión respecto de la construcción del RTEI. El diseño en sí lo realiza un equipo conjunto de más de 200 profesionales y cuatro equipos nacionales. Los centros de los equipos conjuntos se hallan en Japón, Estados Unidos y Alemania. Las tareas de apoyo de investigación y desarrollo se reparten también equitativamente entre las cuatro partes.

Será necesario un nuevo acuerdo para la etapa de construcción. La selección del emplazamiento será especialmente difícil. La construcción podría comenzar en 1998, durar cerca de ocho años y costar aproximadamente 6.500 millones de dólares. El RTEI funcionaría unos 20 años.

orientados (distribuidos) que unan los últimos avances científicos, sobre todo en el campo incipiente de las agrobiotecnologías, reuniendo los recursos y sobre todo compartiendo los riesgos, las tareas y la información y los datos, podría facilitar el logro de soluciones.

Ésta es un área en que el compromiso individual de los científicos será tan importante como el de los gobiernos y las organizaciones internacionales. Por medio de las agencias de correo electrónico e Internet, por ejemplo, la constitución de equipos se produce mediante el tablero de anuncios electrónicos y no mediante negociaciones. Esta práctica seguramente está destinada a expandirse y a afectar los grandes proyectos científicos. Es posible que los futuros macroproyectos para la solución de problemas mundiales se conciban inicialmente de esta manera.

Nuevas condiciones limitativas

Las condiciones limitativas que configurarán el futuro pueden ser varias, concretamente:

- Mayores oportunidades de progreso científico por medio de macroproyectos.
- Severas restricciones de los presupuestos nacionales de investigación y desarrollo.
- Intensa competencia para la obtención de fondos de investigación y desarrollo en las diferentes esferas de investigación y entre ellas.
- Erosión del apoyo público a la investigación básica.
- Fuertes presiones para racionar los fondos destinados a la macrociencia.
- Papel más enérgico de los funcionarios gubernamentales encargados de la investigación y el desarrollo.

Ya hay organizaciones internacionales interesadas en coordinar y administrar macrociencia. Entre ellas figuran las Naciones Unidas (en particular, dentro de este sistema, la UNESCO, que, como vimos, jugó una papel esencial en la creación del CERN y que es responsable de varios programas mundiales de investigación), la OCDE (véase el recuadro), y la Unión Europea, mientras que el G7 ha participado tangencialmente. Actualmente, la Unión Europea es un importante proveedor de fondos. También pueden participar otros organismos regionales. Los diversos organismos del sistema de las Naciones Unidas tienen experiencia en la administración de áreas determinadas de investigación, pero poca en el campo de la macrociencia. No está claro si esos organismos podrían, trabajando juntos o mediante otra organización creada a propósito, ase-

gurar el compromiso a largo plazo de los recursos necesarios, pero la naturaleza de los problemas mundiales que hay que abordar en un esfuerzo internacional podría justificar una iniciativa especial por su parte. Además, la OCDE, cuya estructura actual no es idónea para las necesidades en la esfera de la administración de la política de investigación, puede ser una posible base sobre la cual establecer la función de intercambio, coordinando la aportación de fondos de los países más ricos del mundo en un esfuerzo compartido en beneficio de toda la humanidad. De ser considerado inevitablemente utópico sólo algunos años atrás, este concepto es hoy una idea en la que piensan todos los que aprecian la contribución que los proyectos de ciencia mundial pueden aportar al futuro del mundo.

Opciones de política

¿Cómo puede ser el futuro de la macrociencia? ¿Qué innovaciones se producirán en la toma de decisiones, la organización, la aportación de fondos y la administración? Las

respuestas no son fáciles, pero las tres hipótesis diferentes bosquejadas a continuación pueden dar una idea.

- *Statu quo.* El futuro puede parecerse algo al pasado reciente, con fuerte competencia entre grupos científicos nacionales, mayor politización del proceso de financiación y variaciones en la toma de decisiones a nivel nacional. Dadas las condiciones limitativas mencionadas, esta hipótesis no es de buen augurio para la salud del mundo científico.
- *Mayor cooperación proyecto por proyecto.* La naturaleza informal de la cooperación en macroproyectos continuaría con una mayor presión de los gobiernos, mayor capacidad de intercambio de información y mayor disponibilidad de foros de negociación. Un resultado podría ser la elaboración de un presupuesto pro forma de macrociencia que dividiera los macroproyectos entre los países de forma equitativa. Entre los problemas existentes cabe citar la definición de las funciones de los países pequeños y la falta de disciplina presupuestaria fiable de determinados países.

El Foro de Macrociencia de la OCDE

El Consejo de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) estableció el 1 de junio de 1992 el Foro de Macrociencia de la OCDE por un periodo de tres años. El concepto y la propuesta fueron el mayor logro de la reunión ministerial científica de la OCDE de marzo de 1992. El Foro es una actividad del Comité de Política Científica y Tecnológica de la OCDE.

La función del Foro es servir de mecanismo para el desarrollo y el intercambio de información y estudios sobre macroproyectos científicos. Bajo sus auspicios se han celebrado muchas reuniones de expertos para evaluar la situación de la investigación y la cooperación internacional en diversos campos de la macrociencia, entre otros la perforación a grandes profundidades, el cambio mundial, la física de las partículas, los rayos de neutrones y las fuentes de radiación de sincrotrones. Se han publicado varios informes.

El Foro no se concibió en ningún momento como órgano de decisión. Sin embargo, se espera que en la reunión ministerial científica de la OCDE de septiembre de 1995 se hagan propuestas para establecer un grupo permanente relacionado con grandes proyectos científicos, compuesto por funcionarios gubernamentales. Ese grupo permanente podría establecer grupos de trabajo de funcionarios gubernamentales encargados de determinadas esferas de la macrociencia que por lo menos ofrecieran una coordinación más estrecha de las acciones de las entidades nacionales de financiación en las esferas que se señalan. Es posible que esta segunda ronda de participación de la OCDE en el tema de la macrociencia lleve a un acuerdo internacional respecto de un marco más fuerte y permanente de cooperación como los que se examinaron en la sección *El Futuro*.

■ *Tratado u otro acuerdo duradero.* Los proyectos de macrociencia, o por lo menos los de instalación central, serían financiados en virtud de un acuerdo entre los países con mayor fuerza económica. Los componentes interesados de la comunidad científica negociarían un equilibrio entre la financiación estable, por una parte, y la limitación de hecho de los recursos, por otra. Dicho acuerdo de cobertura o global sería difícil de elaborar. Habría que establecer un reparto equitativo de los beneficios de los macroproyectos, tanto de los beneficios científicos como de los económicos directos. Dicho acuerdo incorporaría el principio de un «mercado» de macroproyectos, algunos de los cuales serían proyectos nacionales para los que el país que los financiase recibiría créditos. Los más grandes serían verdaderamente internacionales y de financiación y administración conjuntas.

Desafío para los científicos y los gobiernos

El desafío para los gobiernos y los científicos es elaborar un marco internacional flexible y fiable para apoyar proyectos de macrociencia en el futuro. Dicho marco debe reflejar las universales restricciones presupuestarias actuales, pero teniendo en cuenta los problemas reales de la sociedad mundial y los desafíos científicos más fascinantes y no resueltos. Hay que conservar un alto nivel científico. Habría que aplicar la equidad entre países, tanto en lo que se refiere a los costos como a los beneficios. El desafío es grande pero la recompensa vale la pena.

J. Thomas Ratchford es director del Centro de Política Científica, Comercial y Tecnológica y profesor de política internacional de ciencia y tecnología de la Universidad George Mason. El Dr. Ratchford fue físico de la materia condensada en su juventud y ha trabajado como profesor e investigador universitario en distintos laboratorios privados y oficiales. También ha administrado un programa de investigación básica de ciencias del estado sólido y ha sido funcionario del Congreso de Estados Unidos.

Antes de establecerse en la Universidad George Mason en 1993, fue director asociado de política y asuntos internacionales de la Oficina de Política Científica y Tecnológica de la Casa Blanca. En esta calidad desarrolló iniciativas para fomentar la cooperación internacional en ciencia y tecnología, una de las cuales llevó al establecimiento del Foro de Macrociencia de la OCDE.

Umberto Colombo es químico-físico de formación y trabajó varios años como investigador en la Montedison de Italia antes de ser nombrado, en 1971, director general de investigación y estrategias empresariales de dicha empresa. Entre 1979 y 1993 ocupó los cargos de Presidente de, sucesivamente, la Comisión de Energía Atómica Italiana, el Ente Nacional de Hidrocarburos de Italia y la Agencia Nacional Italiana de Nuevas Tecnologías, Energía y Medio Ambiente (ENEA). En 1993 y 1994 fue Ministro de Universidades e Investigación Científica y Tecnológica del Gobierno italiano. Entre los muchos puestos importantes que ha ocupado el profesor Colombo en su distinguida carrera profesional figuran los de Presidente de la Fundación Europea de Ciencia (1991-1993), miembro del Consejo de la Universidad de las Naciones Unidas y miembro de la Junta Ejecutiva del Club de Roma.

BIBLIOGRAFÍA

Blanpied, W., Bond, J. S., e Irvine, John (ed.) (1992), «Megascience Projects: An Emerging Issue for the 21st Century» en *Equipping Science for the 21st Century*, Londres, Elgar Press.

OCDE (1993), *Megascience: the OECD Forum, Megascience and its Background*, París, Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos.

OCDE (1995), *What is the OECD Megascience Forum?*, París, Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos.

President's Council of Advisors on Science and Technology (1992), *Mega-projects in the Sciences*, Washington, D.C., US Government Printing Office.

US Congress, Office of Technology Assessment (1995) *International Partnerships in Large Science Projects*, Washington, D. C.: US Government Printing Office.

Geociencia y medio ambiente: comprender los efectos de las actividades humanas en los procesos naturales

ANTONY R. BERGER

¿QUÉ ES LA GEOCIENCIA AMBIENTAL?

Comprender los procesos geológicos que afectan a la superficie de la tierra a corto y a medio plazo es importante por muchas razones. Permite evaluar las posibilidades de uso de la tierra y sus limitaciones. Constituye una parte fundamental de los conocimientos sobre los que se basan las decisiones relativas al medio ambiente y contribuye a un enfoque a largo plazo con miras a un futuro sostenible. Ayuda a determinar las posibilidades de protección y restauración del medio ambiente y a apreciar la influencia creciente de los factores ambientales en las decisiones empresariales. La geociencia (o, más tradicionalmente, la geología, esto es, el estudio de la Tierra y de los materiales físicos de que está hecha) permite comprender el entorno físico, las causas y los efectos de los procesos naturales y las actividades humanas, propicia la conciencia ambiental y fomenta una capacidad de ordenación.

Los problemas, los retos y las cuestiones ambientales son muy amplios. La presión demográfica y la planificación deficiente han transformado problemas menores para grupos pequeños en desastres posibles o reales para un gran número de personas. Si bien es imposible hacer desaparecer procesos naturales como la erosión fluvial y costera, los corrimientos de tierras, el volcanismo y los terremotos, la geociencia ayuda a mejorar la planificación, el desarrollo y la gestión de las comunidades humanas y advertir de la inminencia de desastres naturales.

El medio ambiente es toda la red de interacciones geológicas y biológicas que determinan la relación entre la vida y el planeta Tierra. Hay diversas opiniones acerca del alcance del campo relativamente nuevo de la *geociencia ambiental*. En América del Norte y Europa, donde las operaciones de limpieza industrial y urbana emplean a un número creciente de geólogos, entre las actividades en las que se pone más interés figuran las investigaciones detalladas sobre las fuentes específicas de contaminación y los vertederos de desechos, en que se aplican técnicas como las de la hidrogeología y la geofísica a la determinación de las condiciones subterráneas.

Si se amplía el enfoque, la geociencia es el estudio de los aspectos del entorno físico que afectan a la actividad humana y los procesos de la Tierra o están sometidos a su influencia. Éstas son algunas de las contribuciones que la geociencia puede aportar a la sociedad:

- encontrar y ayudar a explotar fuentes de agua subterránea para uso doméstico, industrial y agrícola;
- determinar los niveles naturales de los elementos tóxicos en los suelos, el agua y los sedimentos a fin de establecer normas para el control y el seguimiento de la contaminación;
- ayudar a limpiar las zonas acuíferas de contaminantes orgánicos;
- localizar sitios estables para obras de ingeniería, la eliminación de desechos y evitar fugas, desprendimientos o hundimientos;
- estudiar los volcanes y la sismicidad para determinar los riesgos y advertir de la inminencia de erupciones y terremotos;
- asesorar sobre códigos de construcción que impidan la urbanización de zonas inestables o peligrosas;
- reducir al mínimo los daños al medio ambiente durante la prospección y la extracción de minerales y combustibles fósiles;
- cartografiar y regular las zonas de tierra adentro, costeras y de la alta mar para la eliminación de desechos, el tendido de oleoductos, gasoductos y cables y las instalaciones de producción de gas y petróleo;
- comprender la evolución del clima y otros cambios ambientales, en particular en los últimos siglos.

Los geocientíficos se ocupan de una amplia gama de problemas ambientales. Los agricultores y los habitantes de las zonas rurales de muchas partes de Asia, Europa y América del Norte tienen que hacer frente a la contaminación de las aguas freáticas por los fertilizantes y los aditivos del suelo, así como a la contaminación del aire por industrias como la química, la del carbón, la fundición y la refinación. Se está empezando a conocer ahora la magnitud de la contaminación de los suelos y las aguas en la ex URSS debida a la eliminación de desechos tóxicos. En realidad, «las bombas de tiempo químicas» pueden estallar cuando

los desechos nocivos acumulados en lugares normalmente estables en suelos o sedimentos son liberados repentinamente debido al descenso de la capa freática, la erosión acelerada o el derretimiento de suelos helados.

Muchas comunidades costeras deben enfrentarse a la amenaza de inundación debido a la subida del nivel del mar o a la erosión de la costa, ya sea en los Estados insulares del Pacífico o en el sureste de los Estados Unidos de América. En todas las ciudades del mundo la eliminación de desechos, el abastecimiento de agua potable y la contaminación del aire plantean problemas a sus habitantes. En muchas megalópolis populosas, en particular en los países en desarrollo, los residentes padecen escaseces de agua que ponen en peligro la vida y provocan la inestabilidad del terreno y hasta destrucciones por fuertes sismos, debido en parte a la deficiencia de las normas de construcción o a una política de vivienda inadecuada.

Los problemas ambientales se suelen exponer como si ocurrieran de forma aislada y pudiesen, por lo tanto, resolverse con facilidad, por ejemplo mediante intervenciones de ingeniería ordinarias. La geociencia adopta cada vez más el criterio integrado de que la Tierra es un sistema y que cualquier acontecimiento o proceso afecta a los demás, a veces en forma de reacción en cadena a través de todo el sistema. Así, las emisiones volcánicas en la estratosfera pueden influir en el clima mundial, en la química de las aguas superficiales y aun en la diversidad de la vida animal y vegetal.

PROBLEMAS GEOLÓGICOS DE LAS CIUDADES

Antes de 1900 no existía ninguna ciudad de cinco millones de habitantes. En 1950 había seis, y las Naciones Unidas prevén que para el año 2000 habrá 60, de las cuales las de crecimiento más rápido se encontrarán en los países en desarrollo. Aproximadamente, la mitad de la población mundial de siete mil millones de habitantes vivirá en zonas urbanas. El tremendo impacto de las actividades humanas en esas ciudades transforma el entorno físico, en muchos casos alterando gravemente los equilibrios naturales.

Las autoridades urbanas van reconociendo gradualmente la conveniencia de aplicar la geología a problemas urbanos como la eliminación de desechos y la construcción en zonas en pendiente inestables (véase, por ejemplo, CESPAP, 1988, Nuhfer *et al.*, 1993). Ciudades como Caracas padecen desprendimientos y otros movimientos de tierras masivos debido a la construcción extensiva en zonas en pendiente inestables. Otras, como Hong Kong, han atenuado considerablemente lo que antes era un riesgo geológico oneroso y peligroso estableciendo reglas y prácticas atinadas para la construcción en laderas empinadas y profundamente erosionadas. La eliminación inocua de desechos urbanos e industriales es uno de los principales problemas en todo el mundo, ya que hay una escasez de espacio inutilizado donde la basura no contamine la tierra o las reservas de agua. En Yakarta, México y São Paulo, para no citar sino estas tres ciudades, el abastecimiento de agua potable corre peligro de contaminación por desechos industriales y domésticos.

Muchas urbes han crecido tan rápidamente que la arena, la grava y otros materiales de construcción tienen que transportarse desde muy lejos, pues los yacimientos locales están recubiertos de construcciones y son inutilizables. El bombeo intensivo de aguas subterráneas puede hacer que la tierra se hunda, provocando la inundación de ciudades costeras como Shanghai y Bangkok (Gráfico 1).

A escala local se pueden adoptar medidas para mitigar estos problemas. Por ejemplo, cabe reglamentar el bombeo de aguas subterráneas, embalar herméticamente los desechos para evitar fugas y hacer levantamientos del estado del subsuelo utilizando las técnicas geofísicas modernas. En primer lugar, sin embargo, se deben conocer los peligros potenciales para hacer a continuación un inventario de todos los datos geológicos con el fin de señalar los aspectos sobre los que se carece de información. En esa fase es posible conseguir y movilizar servicios de expertos competentes. Al llevar a cabo las obras correctivas, se requiere una estrecha cooperación entre los responsables de las políticas municipales y los científicos e ingenieros, cuya tarea consiste en evaluar la magnitud del problema,



Foto : Antony R. Berger.

GRÁFICO 1

En Bangkok, entre 1978 y 1987, la superficie de la tierra se hundió hasta 74 cm debido al bombeo rápido e incontrolado de las aguas freáticas. A consecuencia de ello, los suburbios cercanos al golfo de Tailandia se inundan con frecuencia –recientemente, durante 22 días en un mes– y la propia ciudad de Bangkok estuvo continuamente bajo las aguas durante 4 meses en 1983. Se han adoptado medidas contra las inundaciones, pero la tierra se sigue hundiendo en una zona de 4.000 km².

determinar sus causas y hallar soluciones. No es fácil, por ejemplo, controlar una situación en que se permite a algunas personas perforar un pozo donde lo deseen y bombear el agua a ritmos que no tienen en cuenta las necesidades de los vecinos.

GEOQUÍMICA AMBIENTAL Y SALUD

Conforme se va extendiendo la contaminación ambiental, resulta cada vez más importante detectar y comprender las variaciones, en especial los excesos y las deficiencias, en la química de las rocas, los suelos y las aguas, que pueden afectar a la salud humana (Låg, 1990, Nash y McCall, 1994). La geoquímica ayuda a los administradores sanitarios y ambientales a:

- evaluar los riesgos de contacto con elementos químicos subyacentes;
- determinar la magnitud de las medidas correctivas;

- preparar programas de educación sanitaria;
- definir nuevos temas de estudios ambientales;
- prever posibles efectos en la salud humana de determinados elementos y compuestos en sectores no estudiados todavía.

Muchos elementos y compuestos esenciales para la salud son tóxicos cuando rebasan determinados límites de concentración (Gráfico 2). Como decía Paracelso: «Todas las sustancias son venenosas; no hay ninguna que no lo sea. La dosis correcta es lo que diferencia a un veneno de un remedio». Verbigracia, es bien sabido que la falta de fluoruro en el agua potable provoca caries dental; sin embargo, las concentraciones superiores a 1,5 mg/l en el agua potable pueden provocar también fluorosis dental (manchas en los dientes). Otros ejemplos de enfermedades crónicas y trastornos causados por deficiencias o excesos de determinados elementos se encuentran en el Gráfico 3.

GRÁFICO 2
SUSTANCIAS QUÍMICAS Y SALUD

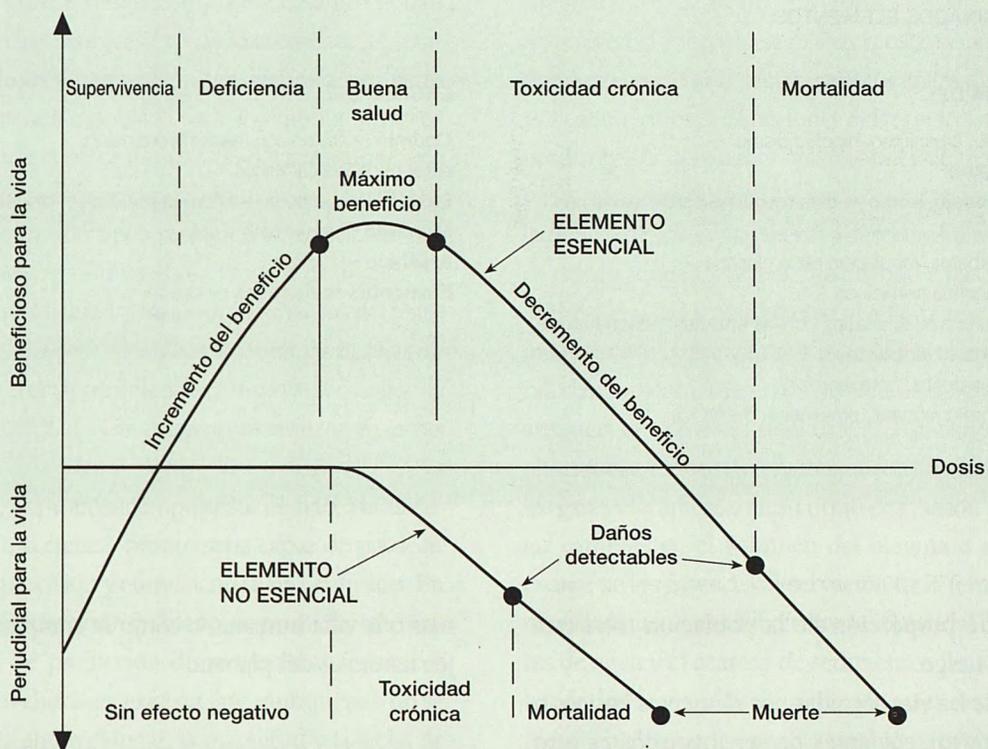


Ilustración esquemática de las ventajas (por ejemplo, baja morbilidad, ausencia de enfermedades y trastornos) y desventajas (enfermedades y trastornos) para la salud humana causadas por la ingestión de productos químicos, sobre la base de una dosis por unidad de tiempo (normalmente, 24 horas).

Fuente: D. R. Boyle, *Geological Survey of Canada*.

Los estudios geoquímicos sistemáticos y cuidadosamente controlados de las aguas, freáticas, las corrientes y las aguas lacustres y los sedimentos, los suelos y los lechos rocosos pueden localizar zonas caracterizadas por cantidades tóxicas o deficientes de elementos importantes (Darnley *et al.*, 1995). Así, por ejemplo, las investigaciones médicas indican que el agua dura puede brindar cierta protección contra las enfermedades cardíacas y que las personas que ingieren agua blanda pueden correr un peligro ligeramente mayor de contraer alguna enfermedad cardiovascular. Los mapas de la distribución de la dureza de las aguas de superficie y subterráneas pueden

servir a las autoridades médicas para preparar nuevos estudios.

Aunque quizá tenga escaso efecto inmediato en la calidad de las reservas de agua potable, la precipitación ácida debida a las emisiones procedentes del transporte y la industria puede acabar por modificar la calidad de las aguas freáticas aumentando su acidez, lo que es posible que provoque a su vez una mayor disolución y movilidad de metales tóxicos como el plomo, el cadmio, el arsénico, el cobre y el aluminio. Se pueden utilizar mapas topográficos del pH de las aguas freáticas para trazar los contornos de las zonas sensibles a las concentraciones de lluvia ácida y

GRÁFICO 3
ENFERMEDADES CRÓNICAS Y TRASTORNOS CAUSADOS POR DEFICIENCIAS O EXCESOS
DE DETERMINADOS ELEMENTOS

DEFICIENCIA DE:

- Yodo** → bocio, cretinismo, hipotiroidismo
- Hierro** → anemia
- Calcio, magnesio, sodio** → enfermedades cardiovasculares, hipocalcemia
- Cromo** → diabetes, regulación de la glucosa
- Cobalto** → anemia perniciosa
- Zinc** → trastornos relacionados con las enzimas, periqueratosis, deficiencia de la cicatrización
- Flúor** → caries dental, osteoporosis
- Selenio** → cardiomiopatía, prevención del cáncer

EXCESO DE:

- Cadmio** → disfunción renal, hipertensión, enfermedades cardíacas
- Plomo** → neuropatía, trastornos psicóticos, hipertensión
- Mercurio** → neuropatía
- Arsénico** → cáncer
- Elementos radiactivos** → cáncer

Fuente: Boyle, 1991.

determinar qué proporción de la población total está expuesta a ese riesgo.

El análisis de las vías seguidas por elementos básicos o potencialmente tóxicos antes de ser ingeridos es otro aspecto importante de la geoquímica ambiental. Así, por ejemplo, conforme avanza en la cadena alimentaria el mercurio puede formar compuestos orgánicos desnaturalizados altamente tóxicos cuya concentración va en aumento y puede poner en peligro la salud humana. Es fundamental para la planificación y la gestión ambientales comprender cómo se integran en el ciclo natural los elementos derivados del lecho rocoso y los suelos.

Las técnicas de análisis químicos sumamente detallados se afinan tanto que ya cabe detectar niveles de contaminación medida en partes por billón en muestras de agua, aire y tierra. Sin embargo, los costos de mitigación suelen aumentar casi de forma exponencial cuando los niveles de detección pasan de porcentajes (partes por ciento) a ppm (partes por millón) y no se conocen los niveles límite para un medio ambiente sostenible. Algunos ciudadanos exigen niveles de contaminación absolutamente nulos, pero la ciencia en general no sabe aún en qué medida las cantidades ínfimas afectan a los ecosiste-

mas o la vida humana, o cómo se comparan con los flujos naturales del planeta.

LUCHA CONTRA LOS TERREMOTOS
Y LAS ERUPCIONES VOLCÁNICAS

Se dispone de muchos datos y conocimientos especializados para la prevención y mitigación de los efectos de acontecimientos geológicos repentinos, y a menudo catastróficos, como los corrimientos de tierras, los terremotos y las erupciones volcánicas (McCall *et al.*, 1992; Nuhfer *et al.*, 1993). En caso de desastre real o inminente, la información importante no sólo debe ser fácilmente obtenible, sino que se debe transmitir con rapidez y seguridad para que surta un efecto inmediato en la predicción de peligros (acontecimientos o procesos potencialmente destructores) y riesgos (la magnitud de las posibles pérdidas de vidas, bienes o capacidad de producción en la zona de peligro).

Los geofísicos y otros científicos que se ocupan de los riesgos sísmicos observan los movimientos del suelo y estudian las estructuras profundas de la tierra, las causas de los terremotos y los efectos en la superficie, acopiando datos sobre sismos pasados y la actividad neotectónica. Los inves-

tigadores de los Estados Unidos, el Japón, Rusia y otros países han realizado considerables progresos en la determinación de las zonas de riesgo sísmico importante. Se han descubierto brechas sísmicas (zonas aparentemente estables en líneas de falla conocidas), por ejemplo a lo largo de la costa densamente poblada de la Columbia Británica meridional, donde la placa de Juan de Fuca se hunde por debajo de la placa norteamericana a lo largo de una importante zona de depresión poco profunda caracterizada por una intensa actividad sísmica. Los estudios detallados de los efectos de la sismicidad pasada en sedimentos del Cuaternario, en que se pueden localizar y fechar las huellas de antiguas fallas, están permitiendo comprender mejor la frecuencia histórica de los terremotos aquí y en otras partes.

No obstante, el pronóstico optimista de hace un decenio o dos de que la ciencia pronto sería capaz de predecir terremotos con precisión y eficacia, no se ha verificado. En el Japón, país densamente poblado, a pesar de un programa nacional de predicción de movimientos sísmicos que se encuentra ahora en su sexta fase quinquenal, no se ha previsto hasta ahora el lugar, la magnitud y la fecha de ningún sismo. El terremoto de Kobe del 17 de enero de 1995, en que perecieron más de 5.000 personas y hubo más de 26.000 heridos y que produjo unos daños estimados en 100.000 millones de dólares, es un ejemplo elocuente de lo mucho que queda aún por hacer.

La predicción de las erupciones volcánicas ha sido más exitosa. Gran parte de los progresos se deben a las investigaciones realizadas en los Estados Unidos, que tiene más volcanes activos o potencialmente activos que cualquier otro país salvo el Japón e Indonesia. Se han evitado posibles desastres en Filipinas e Indonesia gracias a las alertas relativas a grandes erupciones que han permitido evacuar a las poblaciones locales de la zona de peligro. No obstante, esto resulta muy difícil cuando se trata de grandes poblaciones, como ocurre también en las costas densamente pobladas afectadas por terremotos y los subsiguientes maremotos (*tsunamis*).

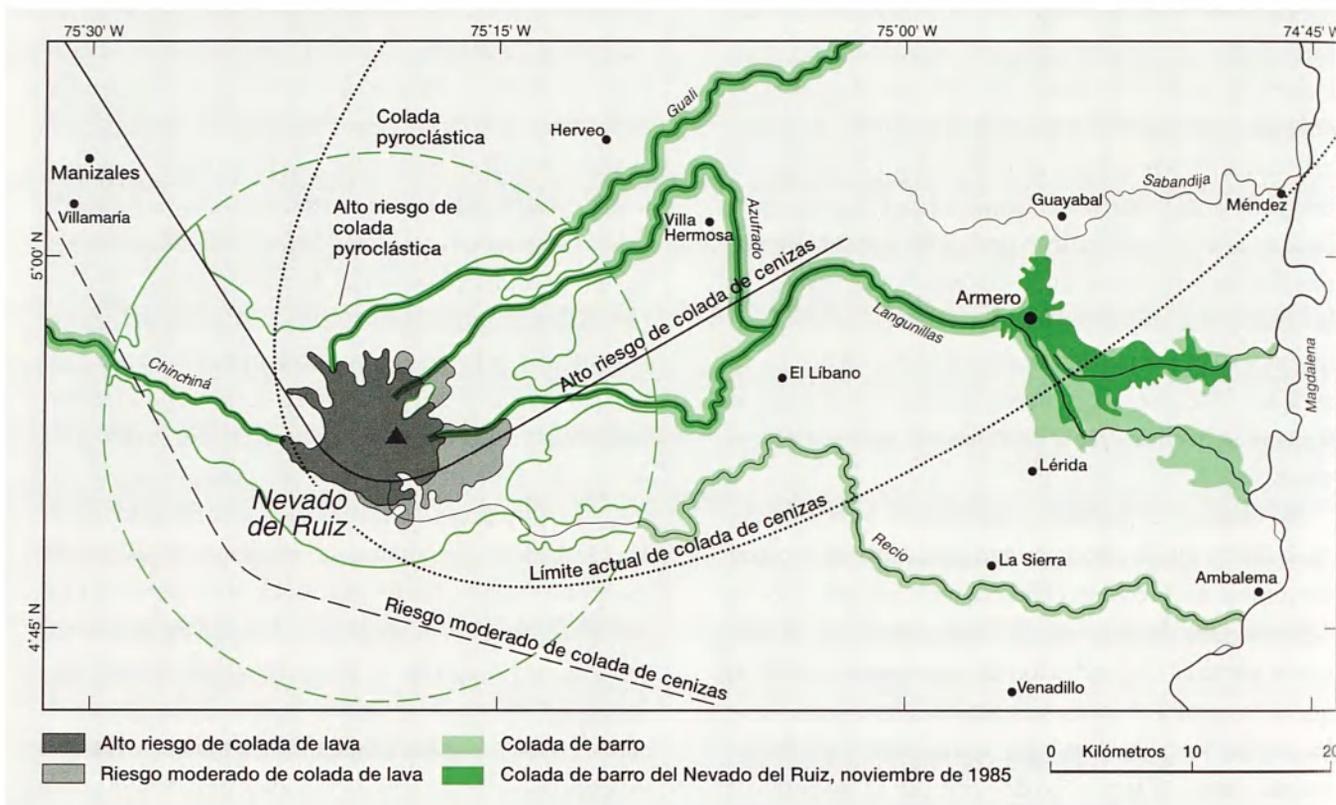
Para reducir los posibles daños del volcanismo es necesario primero tomar el pulso de un volcán (Wright and

Pierson, 1992). Esto se hace vigilando los movimientos sísmicos que suelen preceder a la actividad volcánica. Los movimientos de tierras provocados por la presión del magma en el subsuelo se miden mediante análisis detallados cuyo objeto es detectar cambios en las distancias entre indicadores fijos, inclinaciones del terreno y variaciones en la altura. Los desplazamientos locales de tierras en volcanes empinados pueden ser anunciadores de desplomes de laderas y de los consiguientes desprendimientos masivos de tierras, aludes y avalanchas de lodo y piedras. Los cambios en la conductividad eléctrica, la potencia del campo magnético y la fuerza de gravedad en torno a un volcán pueden indicar también movimientos del magma, aun en ausencia de actividad sísmica y de movimiento de tierras observable. Las variaciones en la composición química de los gases volcánicos o en su ritmo de emisión pueden denotar cambios en el volumen del magma o en las vías de escape de los gases. La observación de la temperatura y los niveles de las aguas subterráneas, el caudal de las corrientes de agua y el acarreo de sedimentos fluviales, los niveles de los lagos y la acumulación o el derretimiento de nieve y hielo pueden ayudar también a evaluar los riesgos volcánicos.

El conocimiento geológico de la historia de la actividad volcánica local puede permitir comprender mejor las peculiaridades de determinados volcanes. Gracias a las investigaciones y las observaciones se pueden elaborar mapas que indiquen la distribución espacial de los peligros y riesgos volcánicos. No obstante, estos conocimientos no servirán de nada si las autoridades locales no están convencidas de que los peligros son lo suficientemente inminentes para alertar a las poblaciones vecinas, o si el público en general no comprende o toma en serio los consejos de evacuar las zonas de peligro.

Cuando en 1991 tuvo lugar en el monte Pinatubo, en Filipinas, una de las erupciones más importantes de este siglo, una posible catástrofe se transformó en una situación de urgencia volcánica manejada de forma responsable, gracias a la estrecha cooperación entre vulcanólogos locales y extranjeros, servicios de defensa civil y autoridades locales. El ejemplo contrario es el caso trágico de la

GRÁFICO 4
 MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE LA ZONA DE RIESGOS



Mapa de los peligros y riesgos volcánicos previstos con respecto al pico Nevado del Ruiz, Colombia, difundido un mes antes de la erupción del 13 de noviembre de 1985 y del torrente de lodo que sepultó el pueblo de Armero.

Reimpreso con la autorización de Wright y Pierson (1992).

LOS DEBATES CONTEMPORÁNEOS

muerte de más de 23.000 personas en el pueblo de Armero, en Colombia, sepultadas en 1985 por avalanchas de lodo desencadenadas por una erupción volcánica, a pesar de que se había difundido previamente un mapa en que se indicaban las zonas de riesgo previsible (Gráfico 4). La conmoción que provocó en Colombia esta tragedia suscitó muchas reacciones, entre ellas la producción de una serie de folletos, videos y otros materia-

les didácticos excelentes y muy utilizados¹ que explican la índole de los desastres naturales y cómo evitar que causen daños.

La principal lección de los últimos años es la importancia de integrar la información científica en la planificación de las actividades oficiales de preparación para desastres, de establecer una comunicación eficaz entre los científicos y otros expertos, los funcionarios locales, los

1. Se trata, para las escuelas, de historietas y de un manual bien redactado titulado «Cómo vivir aquí», que trata de los terremotos, las erupciones volcánicas, las inundaciones, los desprendimientos de tierras, los huracanes, los maremotos, los incendios y hasta las multitudes.

GRÁFICO 5
AVISO DE RIESGOS Y PELIGROS VOLCÁNICOS

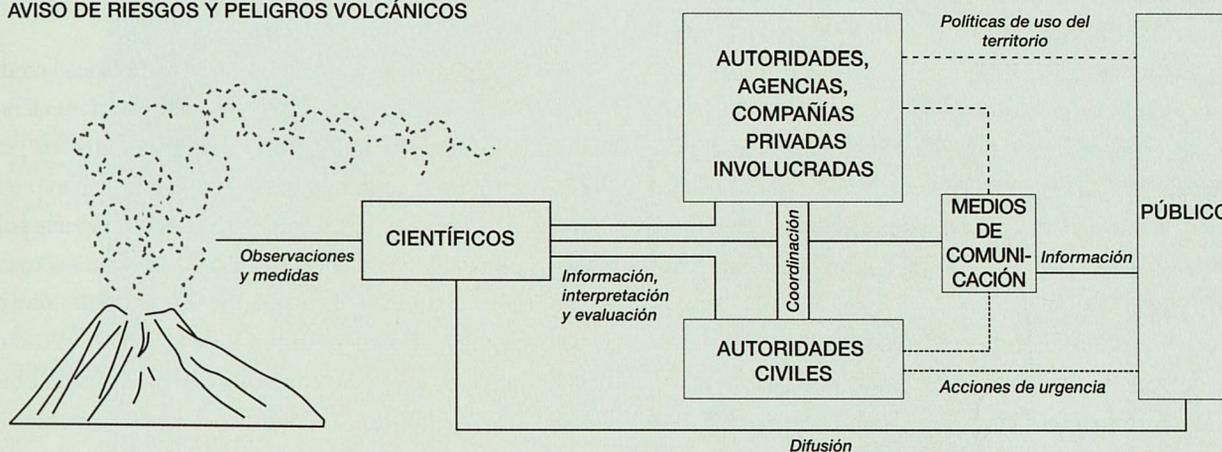


Ilustración esquemática de la circulación de información sobre el Monte Santa Helena, Washington.

Reimpreso con la autorización de Wright y Pierson (1992).

planificadores, los urbanizadores y las autoridades encargadas de la seguridad pública (véase por ejemplo UNDR0, 1985, Gráfico 5). Es necesario, entre otras cosas, comprender la diferencia entre las previsiones relativamente imprecisas relativas a las erupciones volcánicas y otros cataclismos y las predicciones que indican con relativa precisión la fecha, el lugar y, en el mejor de los casos, la índole y el tipo de actividad inminente. La naturaleza se encargará de que persistan los riesgos sísmicos y volcánicos. Lo que los seres humanos pueden hacer es comprender y atenuar en la mayor medida posible los daños posibles y, cuando sea necesario, ponerse fuera de peligro. Éste es uno de los principales mensajes del Decenio Internacional de las Naciones Unidas para la Reducción de los Desastres Naturales (1990-2000).

NATURALEZA Y SOCIEDAD.
COMPRENDER EL PASADO

Por su poder de trastornar la naturaleza, la especie humana rivaliza en la actualidad con fenómenos como el volca-

nismo, los terremotos y la erosión. Según algunas estimaciones, la masa transferida mediante la extracción de minerales, combustibles y recursos hídricos, el desplazamiento de materiales de construcción y la erosión provocada por el ser humano equivalen a 20 toneladas al año por persona. Esta cifra es comparable al volumen de sedimentos acarreados por los ríos del mundo y a la destrucción y creación de suelo oceánico por los movimientos tectónicos. Por consiguiente, hay una fuerte tendencia hoy en día a achacar a la humanidad todos los cambios ambientales. Sin embargo, la propia naturaleza no es constante y no se comprenden muy bien las causas, las frecuencias y las magnitudes de los principales cambios ambientales del pasado.

Por ejemplo, las investigaciones recientes en el Sahara han demostrado de manera bastante concluyente que donde ahora hay un desierto había ríos, sabanas, fauna y población humana, no una sola vez sino varias (Petit-Maire, 1993). En lo que hoy es la zona hiperárida del Sahara occidental, en el norte de Malí, los fósiles y sedimentos indican que entre 8.000 y 4.000 años atrás hubo varios ciclos de aridez y humedad. Hace 4.500 años aproximadamente,

las capas geológicas registran el comienzo de la aridez y los lagos empiezan a retroceder hace unos 4.000 años. Al instalarse el desierto hace unos 1.000 años, los seres humanos se trasladaron tierra adentro hacia las montañas inhóspitas pero más húmedas del Air y el Hagggar, o hacia el oeste y la costa atlántica, donde los asentamientos duraron hasta el inicio de la era cristiana. Hay muchos otros ejemplos de sociedades gravemente afectadas o incluso destruidas por «desastres» del medio ambiente natural (Issar, 1990).

Muchos estudios han mostrado que cuando las últimas grandes capas de hielo estaban retrocediendo en el hemisferio septentrional, el paisaje recién descubierto experimentó cambios bruscos e intensos, ya que las corrientes de hielo derretido cambiaron con frecuencia de curso, se produjeron desprendimientos de grandes bloques de hielo y los sedimentos atrapados en los hielos se depositaron en lagos, ríos y en las llanuras estériles que se extendían frente a los glaciares. No hay indicios de que los seres humanos u otras formas de vida influyeran de modo significativo en estos fenómenos.

A pesar de las dudas en nuestra comprensión de los procesos naturales, es evidente que éstos ejercieron una interacción en muchas escalas en el espacio y el tiempo, y que influyeron en las actividades humanas y fueron a su vez influidos por ellas. Gran parte de las investigaciones sobre el cambio climático mundial, por ejemplo, estudian el intercambio actual y en el pasado reciente de CO₂ y otros gases de efecto invernadero entre la atmósfera, los océanos, los suelos y la biosfera. La contribución masiva de las emisiones volcánicas a las propiedades físicas y químicas de la atmósfera es evidente, sobre todo después de los inmensos volúmenes de materias expelidas por el monte Pinatubo (AGU, 1992). Se calcula que hubo entre ellas unos 25 a 30 millones de toneladas de SO₂, que formaron en la estratosfera una nube persistente de gotitas de ácido sulfúrico que provocaron, al menos brevemente, una disminución de 0,5 °C en la temperatura de la superficie del pla-

meta y propiciaron reacciones químicas que contribuyeron a la destrucción de la capa de ozono por los CFC producidos por las actividades humanas.

Si supiéramos exactamente cómo ha cambiado el medio ambiente mundial, regional y local en el pasado reciente, podríamos hacer una distinción más clara entre los procesos naturales y las influencias humanas (deseables o perniciosas) y, de ese modo, se podrían concebir mejores políticas ambientales para hacer frente a las tensiones actuales y los cambios futuros. Se dispone de una gran cantidad de datos históricos sobre los cambios en el clima y el uso de la tierra, pero de muchos menos sobre la diversidad biológica, la vegetación, la química del agua, la erosión, la estabilidad de las laderas o la acumulación de turba, por ejemplo. Se está logrando una mejor comprensión gracias a los esfuerzos por descifrar mejor los archivos naturales del cambio ambiental preservados en los casquetes glaciares, los sedimentos de los lagos y los océanos, los anillos de los árboles, las temperaturas del suelo y los isótopos de las aguas freáticas. Dentro de 50 ó 100 años, los administradores y los responsables de la adopción de decisiones tendrán una comprensión mucho mejor de los cambios y las tendencias ambientales, si pueden contar con una serie de «instantáneas» del medio ambiente de cualquier época.

Los estudios sobre el medio ambiente del Cuaternario demuestran cada vez más claramente que en los últimos 10.000 años se han producido varias veces fluctuaciones climáticas naturales de 2 °C y más, algunas veces con bastante rapidez². Cabe preguntarse, pues, cuál sería el efecto sobre el clima de un enfriamiento natural contrapuesto a un aumento antropógeno de gases de efecto invernadero o de un calentamiento natural superpuesto a un calentamiento provocado por las actividades humanas. El calentamiento climático en las regiones polares y subpolares puede ocasionar un amplio derretimiento de los casquetes glaciares. Esto liberaría probablemente gases metano congelados en la tundra y la taiga, lo que provocaría una reacción que aceleraría aún más el calentamiento, muy

2. Por ejemplo, los testigos extraídos del casquete glaciar de Groenlandia en 1992 indicaron cambios en los isótopos que denotan episodios pasados en los últimos 40.000 años de calentamiento muy rápido: hasta 7 °C en unos cuantos decenios. Este calentamiento es mucho más pronunciado que el que predicen en la actualidad los modelos de circulación general de la atmósfera.

Indicadores geológicos de cambio ambiental rápido

Para evaluar el estado de cualquier medio ambiente se requieren indicadores fiables, del mismo modo que los médicos utilizan la presión sanguínea y la temperatura del cuerpo como guías de la salud humana y los economistas utilizan el PNB para medir la pujanza de la economía de un país. La Unión Internacional de Ciencias Geológicas está estableciendo una serie de indicadores geológicos de un cambio ambiental rápido para prestar asistencia en la vigilancia ambiental y en la presentación de informes sobre el estado del medio ambiente. Los geoindicadores son mediciones de magnitudes, frecuencias, índices y tendencias de procesos y fenómenos geológicos que cubren periodos de 100 años o menos, en la superficie de la tierra o cerca de ella, que pueden experimentar variaciones que son importantes para comprender los cambios ambientales rápidos. Los geoindicadores miden a la vez los acontecimientos catastróficos y los procesos más graduales pero observables en el lapso de la vida humana. Algunos son complejos y costosos, pero muchos son relativamente sencillos y de aplicación económica.

Existen indicadores sísmicos normalizados para la detección y evaluación de los terremotos. Éstos son otros ejemplos de geoindicadores útiles:

- las observaciones visuales de perfiles de playas y características de la vegetación, que permiten una rápida evaluación de la estabilidad actual de las playas y costas;
- el ritmo de crecimiento de los corales, que puede proporcionar información detallada sobre los cambios

en la temperatura y la salinidad del océano, así como sobre las características de descarga de los grandes sistemas fluviales;

- las emisiones de fluidos y gases y la deformación de los suelos, que pueden utilizarse para advertir de la inminencia de erupciones volcánicas.

Cuando la vigilancia instrumental no es posible, algunos entornos naturales hipersensibles pueden servir de «estaciones automatizadas de vigilancia ambiental» que pueden registrar los cambios en curso o a largo plazo. Se trata de los corales, los depósitos de las cuevas, las aguas de la zona no saturada y los perfiles de temperatura del subsuelo.

En la búsqueda de sostenibilidad no podemos ignorar importantes indicadores ambientales y los conjuntos de datos mínimos que se requieren para evaluar los cambios en la erosión, los niveles del mar, el caudal fluvial, la química del agua y otros procesos de la tierra que influyen en los ecosistemas y en el bienestar de la humanidad. Aunque todavía no es posible predecir con certeza los cambios ambientales, los datos sobre el pasado geológico reciente son trascendentales para establecer los puntos de referencia y las tendencias indispensables para la elaboración de nuevos modelos y conceptos.

Se pueden encontrar datos completos sobre los geoindicadores en Berger, A. R. y Iams, W. J. (comps.), *Geological Indicators of Rapid Environmental Change*, Rotterdam, Balkema, 1996.

distinta de los importantes cambios ambientales en la superficie asociados al «reblandecimiento» del suelo. Se están llevando a cabo considerables esfuerzos de investigación en los países circumpolares para comprender y observar en el medio ambiente natural los signos precursores de cambio en los regímenes hidrológicos, el desprendimiento de calor procedente de la tundra y el derretimiento de los glaciares, así como sus repercusiones en la biota.

En el Canadá, los efectos del clima en los seres humanos en los últimos cien años fueron mayores en las llanuras occidentales, donde las prolongadas sequías entre 1917 y 1938 hicieron estragos en la productividad agrícola y las actividades humanas. Algunos modelos de circulación general indican ahora un posible calentamiento de esta región de unos 3 ó 4 °C, que podría ocasionar una extensa aridificación. En realidad, hay razones para creer que si persisten las tendencias actuales en el uso de la tierra y en el

clima, otro 30 % de las tierras arables podrían dejar de producir aun sin añadir el efecto de invernadero. Continúan en el Canadá las investigaciones geológicas sobre los lagos poco profundos (menos de 1 m) sin salidas. Durante las sequías se forma en el fondo de los lagos una capa de agua densa hipersalina que protege los sedimentos subyacentes de la acción de los organismos que viven en el fondo y de la erosión eólica. Estos intervalos de sequía dejan una marca sedimentaria en forma de delgadas capas distintivas de sulfato o de minerales carbonatados separadas por barros homogéneos constituidos durante los periodos sin sequía. El estudio de los sedimentos extraídos de estos lagos poco profundos muestra que durante los últimos milenios se han producido varias sequías, cada una de ellas de cerca de un siglo de duración. Estos indicios no encajan con los actuales modelos de circulación general utilizados en la predicción de los climas mundiales y tienden a demostrar que los recientes periodos de sequía como los de los años 1920-1930 y del decenio de 1980 pueden no haber sido anormales³.

UN COMENTARIO FINAL

La distinción entre los procesos naturales y los de origen humano suele ser poco clara. No siempre es posible diferenciar los efectos de nuestras actividades en el medio ambiente de los causados por la dinámica natural de la Tierra, que se habrían producido aunque la especie humana no hubiera existido. Los desiertos no son simplemente de origen humano, los cambios climáticos súbitos no son algo nuevo y los procesos naturales del planeta seguirán afectando a las sociedades. Las nuevas políticas relativas al uso y la gestión de la tierra no revertirán forzosamente los procesos naturales.

La geociencia tiene una función esencial que cumplir en la determinación de los problemas ambientales, la comprensión de sus causas, la predicción de las futuras con-

secuencias y la propuesta de soluciones, pero no puede resolver todos esos problemas ni hacer frente por sí sola a los efectos de los peligros naturales. Para que sea eficaz en la previsión, mitigación y control de los efectos de los procesos naturales del planeta en los seres humanos, se requiere una cooperación mucho más estrecha con los medios de comunicación, los planificadores, los políticos y el público en general. La comprensión de nuestro entorno y de los procesos que lo rigen es sólo una parte de la respuesta y la ciencia por sí sola no puede aportar todas las respuestas. Es tan sólo una de las piezas del rompecabezas, no una «panacea tecnológica».

AGRADECIMIENTOS

Este capítulo se basa en parte en el folleto de la UICG (*Planning and Managing the Human Environment*) que figura en la bibliografía indicada a continuación. Agradezco los comentarios de muchos de mis colegas, entre ellos D. R. Boyle, A. Cendrero, P. Dankers, D. C. Elliott, C. R. Tippett y J. S. Wonfor.

Antony Berger es un consultor independiente en ciencias de la tierra y el medio ambiente; ha enseñado geología en las universidades del Canadá y de Sri Lanka. Es Secretario General fundador de la Asociación de Geocientíficos para el Desarrollo Internacional y ex director de *Episodes*, la revista informativa de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (UICG).

El Dr. Berger prosigue sus actividades en asuntos internacionales como Presidente del Grupo de Trabajo sobre Indicadores Geológicos del Cambio Ambiental Rápido de la UICG.

3. En cambio, las grandes tormentas de polvo y la erosión de los suelos registradas durante los decenios de 1920 y 1930 pueden haber sido anormales. A partir de 1870 se produjo una rápida conversión en tierras de labranza de las praderas naturales formadas hace 10 u 11 milenios, lo que provocó la degradación del ecosistema de praderas adaptado a las sequías y destruyó la masa de raíces que podía haber impedido la erosión por el viento.

BIBLIOGRAFÍA

- AGU (1992). *Volcanism and Climate Change*, Washington D. C., American Geophysical Union Special Report, 27 págs.
- Boyle, D. R. (1991). «The Canadian geochemical environment and its relationship to the development of health status indicators», en R. G. McColl (comp.), *Environmental Health Status Indicators*, Waterloo, Ontario, University of Waterloo Press.
- CESPAP (1988). *Urban geology in Asia and the Pacific*, volúmenes 1 y 2, Bangkok, Comisión Económica y Social de las Naciones Unidas para Asia y el Pacífico, vol. 1, 142 págs., vol. 2, 228 págs.
- Darnley, A. G., Björklund, A., Bølviken, B., Gustavson, B., Koval, P. V., Plant, J. A., Steinfeldt, A., Tauchid, M., Xie, X. J. (1995). *A global geochemical database for environmental and resource management*, Earth Sciences 19, París, UNESCO.
- Issar, A. S. (1990). *Water shall flow from the rock - hydrogeology and climate in the lands of the Bible*, Berlín, Springer Verlag.
- Låg, J. (comp.) (1990). *Geomedicine*, Boca Raton, Fl. CRC Press.
- McCall, G. J. H., Laming, D. J. C., y Scott, S. C. (comp.) (1992). *Geohazards: natural and man-made*, Londres, Chapman and Hall.
- Nash, H. y McCall, G. J. H. (comps.) (1994). *Groundwater quality*, Londres, Chapman and Hall.
- Nuhfer, E. B., Proctor, R. J., y Moser, P. H. (1993) (comps.). *The citizens' guide to geological hazards*, Arvada Co., American Institute of Professional Geologists.
- Petit-Maire, N. (1993). *Le Sahara à l'Holocène*, mapa a escala 1:5.000.000 acompañado de notas, Marsella, CNRS, Laboratoire de Géologie du Quaternaire.

UNDRO (1985). *Volcanic emergency management*, Nueva York, Oficina del Coordinador de las Naciones Unidas para el Socorro en Casos de Desastre.

Wright, T. L., y Pierson, T. C. (1992). *Living with Volcanoes*, U.S. Geological Survey Circular 1073.

SELECCIÓN DE OTRAS OBRAS DE CONSULTA GRATUITAS

- Coast in Crisis**, United States Geological Survey Circular 1075 (1990), 32 págs. (fuente: Books and Open-File Reports Section, USGS, Federal Center, Box 25425, Denver CO 80225, EE.UU.).
- Cómo vivir aquí**, Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, Colombia (1991), 78 págs. (fuente: Oficina Nacional, Calle 7a., N.º 6-54, piso 3, Santa Fe de Bogotá, D.C., Colombia).
- Global Change - Reducing Uncertainties**, Consejo Internacional de Uniones Científicas (1992), 40 págs. (fuente: CIUC, 51 boulevard de Montmorency, 75016, París, Francia).
- Planning and Managing the Human Environment: The Essential Role of the Geosciences**, Unión Internacional de Ciencias Geológicas y The Canadian Society of Petroleum Geologists (1992), 12 págs. (fuente: COGEOENVIRONMENT, Geological Survey, P.O. Box 157, NL-2000, AD Haarlem, Países Bajos).
- Standing Up to Natural Disasters**, UNESCO (1991), 48 págs. (fuente: División de Ciencias de la Tierra, UNESCO, 7 Place de Fontenoy, 75700 París, Francia).

La degradación de la tierra

HERMAN T. VERSTAPPEN

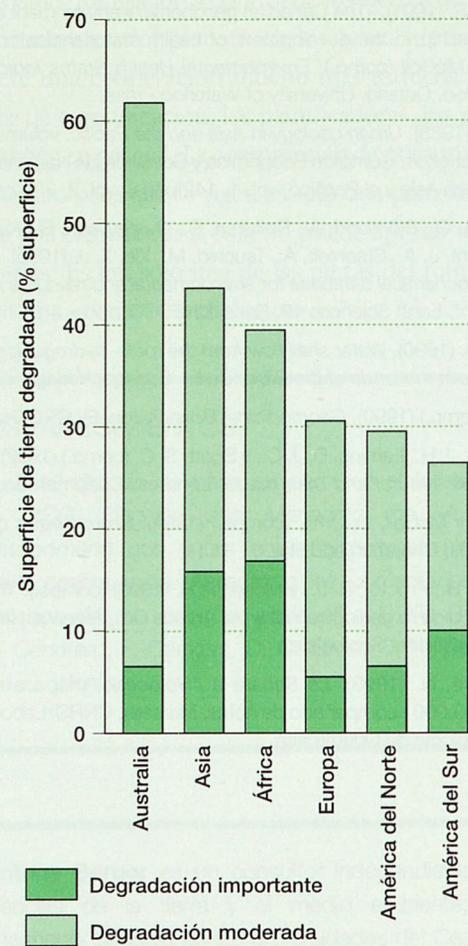
ORIGEN Y EVOLUCIÓN

Desde el principio de su existencia, la humanidad ha modificado el medio ambiente natural para sobrevivir. La primera prueba evidente de ello es la alteración de la vegetación natural que se ha producido desde hace largo tiempo incluso en zonas remotas como las tierras altas de Papúa Nueva Guinea, lugar en que se realizan talas para destinar los terrenos a la agricultura desde hace 10.000 años. El monte bajo («maquis») que actualmente es característico de vastas zonas de la cuenca mediterránea tiene su origen en la deforestación de la época de las civilizaciones griega y romana. Desde la Edad Media se han producido en toda Europa y en América del Norte otras despoblaciones forestales, seguidas en los últimos decenios de una reducción aún más drástica de las selvas tropicales húmedas. Las quemaduras de campos realizadas en África han determinado en gran medida la extensión actual de las formaciones de sabana.

Estas transformaciones de la vegetación provocan inevitablemente cambios en el estado del suelo, las características hidrológicas y los procesos de la superficie terrestre. Algunas sociedades han mantenido durante muchas generaciones un delicado equilibrio con el medio ambiente logrando así la sostenibilidad. Sin embargo, también existen en el pasado ejemplos claros de prácticas no sostenibles, que dieron lugar a la decadencia e incluso a la extinción de algunas civilizaciones.

La degradación de la tierra afecta también a las sociedades industrializadas, según muestra el Gráfico 1. En algunas zonas, como la cuenca mediterránea, esta degradación se produce desde hace largo tiempo, mientras que en otras es más reciente. Durante los últimos decenios se ha convertido en un problema mundial debido al aumento vertiginoso de la población mundial, al rápido incremento de las demandas económicas per cápita, a la mecanización de la agricultura y las técnicas de explotación forestal, a las actividades de minería e ingeniería de gran escala, a la urbanización y a otras causas. En consecuencia, no sólo la importancia e intensidad de la degradación de la tierra han aumentado de manera espectacular sino que, además, la

GRÁFICO 1
CIFRAS SOBRE LA DEGRADACIÓN DE LA TIERRA



Fuente: Dregne, 1989.

orientación del problema ha cambiado. En el pasado la causa primordial era la agricultura mientras que hoy día los principales responsables son la industrialización y la urbanización. Incluso podemos afirmar con razón que la degradación de la tierra es un término demasiado restringido, ya que la degradación del mar y el aire son también aspectos importantes del problema. La calidad del medio ambiente y la diversidad geológica constituyen la base de la diversidad biológica y son fundamentales para el bie-

nestar de la humanidad. Debemos resolver cuanto antes el problema mundial de la creación de una sociedad sostenible basada en los recursos variados pero limitados de nuestro planeta azul, aunque es evidente que se trata de una tarea extremadamente difícil. La toma de conciencia debería suponer el cambio de nuestras actitudes y valores que es indispensable para lograr este objetivo: el problema no es la naturaleza sino los abusos que comete la sociedad.

LOS MÚLTIPLES ASPECTOS DE LA DEGRADACIÓN DE LA TIERRA

Erosión del suelo

La erosión acelerada del suelo es el tipo predominante de degradación de la tierra, especialmente en las zonas rurales inclinadas. El tipo y la intensidad de los procesos que se producen en las laderas varían en función de la situación local. La degradación puede empezar con la erosión debida a la salpicadura de gotas de lluvia en un suelo árido. A continuación se forman surcos y barrancos (Gráfico 2) mientras que la erosión remontante puede generar un proceso en el que se alternen los cortes y los deslizamientos de tierras. En las zonas montañosas con litosuelos de escaso espesor puede ocurrir que placas enteras de la cubierta del suelo se deslicen debido a lluvias intensas, dejando la roca desnuda.

Todos estos fenómenos darán lugar a una menor infiltración del agua de lluvia y a una mayor escorrentía y, por tanto, a una disminución de la humedad del suelo y del aire, así como a fluctuaciones más marcadas del caudal de los ríos y a un aumento marcado de la carga de sedimentos que transportan. Por consiguiente, las inundaciones se tornan más frecuentes e intensas, lo cual demuestra la relación directa que existe entre las catástrofes naturales y la degradación del medio ambiente. Una pequeña porción de los materiales del suelo que han sido desplazados podría contribuir a la formación de llanuras aluviales y deltas aguas abajo, pero la mayor parte, con mucho, es arrastrada hacia el mar o depositada en embalses u otros sitios, y no se puede explotar. En general, casi todos los materiales proceden de zonas específicas de la cuenca del río. La

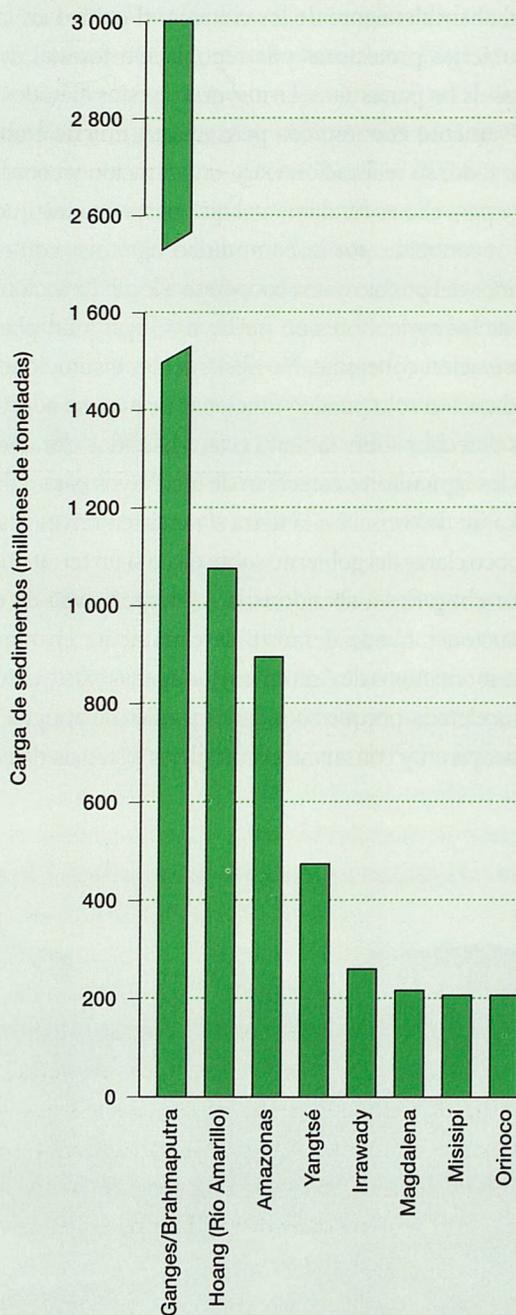
carga de sedimentos (en drástico aumento) de los principales ríos del mundo figura en el Gráfico 3.

Existen muchas maneras conocidas de prevenir, reducir y poner fin a la erosión del suelo, entre las que destacan el abancalamiento de los cultivos, el cultivo en fajas, las cubiertas protectoras y la repoblación forestal de las laderas de las partes altas. La mayoría de estos métodos son relativamente económicos pero exigen mucho trabajo. Sobre todo, su realización exige organización y coordinación y para ello es fundamental que exista una institución local reconocida por la comunidad agrícola, como los ancianos del pueblo o una cooperativa local. La acción aislada de los agricultores no puede dar lugar a un plan de conservación coherente. No obstante, las instituciones de coordinación sólo pueden funcionar de manera adecuada si los derechos sobre la tierra están definidos claramente, pues los agricultores carecerán de incentivos para trabajar duro a fin de conservar la tierra si persisten reivindicaciones poco claras del gobierno sobre ella o si un terrateniente puede obligarles a abandonarla. La importancia de estas instituciones queda demostrada claramente en muchas zonas montañosas de Asia en las que apenas existe una erosión acelerada porque sociedades rurales de antigua data construyeron y conservaron complejos sistemas de aban-



GRÁFICO 2
GRAVE EROSIÓN DEL SUELO EN LAS «TIERRAS MALAS»
DE CALABRIA, ITALIA

GRÁFICO 3
SEDIMENTOS TRANSPORTADOS AL MAR POR RÍOS
IMPORTANTES



Fuente: Walling, 1987; Postel, 1989.

calamamiento de los cultivos. Otro ejemplo es la agricultura precolombina de los valles en aquella época densamente poblados de los Andes: la degradación de la tierra empezó allí cuando los agricultores indígenas fueron diezmados, sus instituciones desaparecieron y un número mucho menor de agricultores descendientes de españoles, que no conocían ese entorno determinado ni las instituciones adecuadas, ocuparon su lugar. La erosión del suelo no sólo produce una degradación del propio suelo y de los recursos hídricos y un deterioro de la vegetación y el clima, sino que además, a la larga, sus consecuencias recaen sobre la sociedad que la ha provocado.

La desertificación

La desertificación constituye un segundo tipo importante de degradación de la tierra muy extendido en las zonas áridas, semiáridas y semihúmedas del globo. El PNUMA estima que afecta a 3.100 millones de hectáreas de tierras de pastoreo, a 335 millones de hectáreas de tierras de secano y a 40 millones de hectáreas de tierras de regadío, y que anualmente se deterioran 20 millones de hectáreas, cuyo rendimiento económico pasa a ser nulo. La velocidad de degradación puede variar hasta cierto punto a lo largo de los años en función de las fluctuaciones de la cantidad de lluvia, pero inevitablemente pone en marcha una espiral socioeconómica descendente en las sociedades afectadas. Los factores desencadenantes son el aumento de la presión demográfica con la consiguiente utilización no sostenible de los recursos agrícolas y de los pastizales. La pérdida de las cosechas en los años secos provoca sequía y hambruna, en particular en la región del Sahel (África). Este tipo de catástrofe «natural» instantánea está estrechamente vinculado a la degradación ambiental gradual de las tierras secas. Si durante varios años consecutivos se mantienen precipitaciones superiores a la media pueden aumentar los riesgos ya que en esas condiciones los agricultores se ven fácilmente tentados a trasladarse a zonas aún más secas o a cultivar en sus tierras cosechas más productivas pero que exigen más agua. La reducción considerable del porcentaje de cubierta de pastizales y matorrales debida al pastoreo

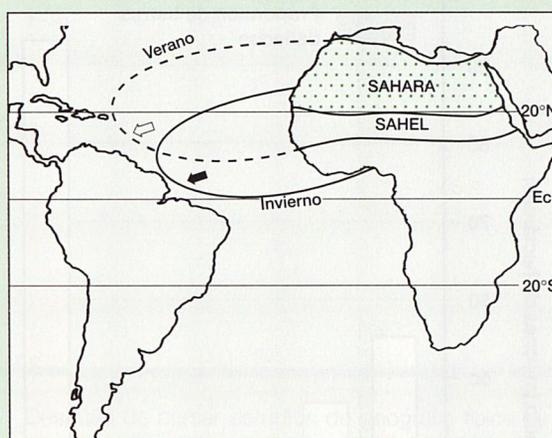
excesivo, especialmente después de años secos, reduce la humedad del aire y puede provocar un aumento duradero de la aridez: desde el exterior llega muy poca humedad hasta el interior de las tierras áridas y hasta el 95 % de las precipitaciones es generado por el reciclaje local continuo.

El agua subterránea de los pozos debe introducirse con mucha mesura en las zonas de pastoreo, pues puede conducir con facilidad a la concentración de rebaños excesivamente grandes, al sobrepastoreo y a la desertificación de las zonas circundantes. De esta manera se rompe el equilibrio natural entre los recursos hídricos y vegetales, y los animales, en caso de sequía, mueren de hambre.

El viento es un elemento destructivo importante en este tipo de situaciones, pues erosiona la tierra al transportar muchas toneladas de polvo en el aire y poner en movimiento campos de dunas en zonas arenosas. La «bola de polvo» que invadió el mediooeste seco de los Estados Unidos en el decenio de 1930 hizo que muchas personas se interesaran en este fenómeno. La erosión eólica se ha producido a una escala mucho mayor en África, especialmente durante la sequía del Sahel de los decenios de 1970 y 1980, época en la que grandes cantidades de polvo fueron transportadas por el aire hasta el Océano Atlántico (Gráfico 4). La salinización debida a la evaporación de la humedad del suelo es otro aspecto común de la desertificación que amenaza la productividad de las tierras de regadío. En el Gráfico 5 se muestra la amplitud de los daños causados de este modo en el mundo con datos sobre los cinco países que más agua utilizan para el riego correspondientes al periodo de mediados del decenio de 1980.

Para la población de las tierras de secano, que va en rápido aumento, es cada vez más difícil lograr un uso sostenible de la tierra y evitar la desertificación. Esto la ha llevado a concebir una variedad de estrategias para enfrentarse a la sequía, que van desde el almacenamiento de agua y la recolección de alimentos hasta la adaptación social. Por ejemplo, los bosquimanos almacenan sandías y agua extraída de pozos primitivos (en huevos de avestruz) aunque también se «dispersan ante la adversidad» formando grupos de seis a diez personas, que tienen más posibilidad

GRÁFICO 4
TRANSPORTE DE POLVO
SOBRE EL OCÉANO ATLÁNTICO
A CAUSA DE LAS SEQUÍAS DEL SAHEL

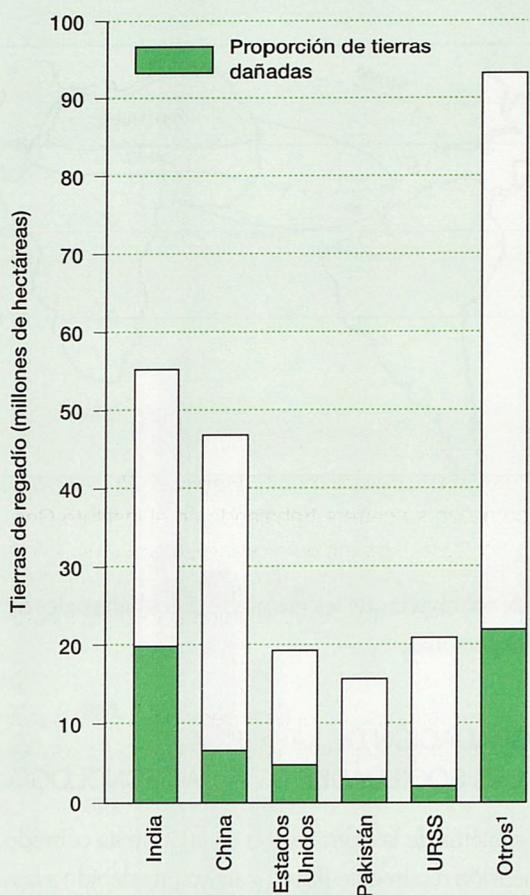


des de sobrevivir que los grupos sociales habituales de 100 a 200 personas.

DEGRADACIÓN DE LA TIERRA EN LAS SOCIEDADES DE ALTA TECNOLOGÍA

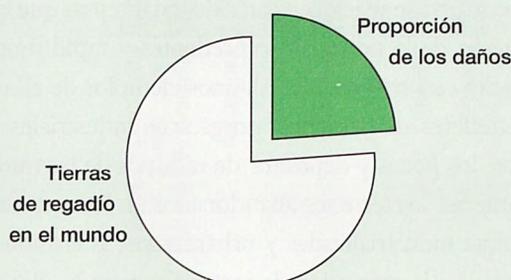
El problema de la degradación de la tierra ha cobrado una dimensión totalmente nueva y alarmante debido a las múltiples amenazas que ha recibido nuestro medio ambiente durante los últimos años a causa de la aplicación no sostenible de la tecnología moderna. Las repercusiones de la actividad humana en las zonas industriales, urbanas y de construcción mecánica han sido tan intensas que la degradación de la tierra, sin precedentes y rapidísima, se ha vuelto casi irreversible. Algunos ejemplos de ello son los vertederos de desechos inorgánicos industriales y urbanos, los pozos y depósitos de residuos de las minas y las canteras, los terrenos abandonados en las zonas antiguamente industrializadas y urbanizadas, la erosión costera debida a la extracción de materiales para la edificación o la construcción de embalses. Lamentablemente los daños no se limitan a estos lugares sino que se difunden a través

GRÁFICO 5
DAÑOS DE LA SALINIZACIÓN CAUSADOS A LAS
TIERRAS DE REGADÍO, MITAD DEL DECENIO 1980



1. Estimación.

Se estima que el 24 % de un total de 250 millones de hectáreas de tierras de regadío están deterioradas en el mundo.



Fuente: Brown *et al.*, 1990.

de la contaminación del agua y el aire introduciendo así la radiactividad, los metales pesados, los detergentes, etc., en extensas zonas circundantes. El efecto de la lluvia ácida en los bosques europeos ha sido espectacular (Cuadro 1).

Sería erróneo pensar que toda degradación de la tierra debida a las nuevas tecnologías se produce en las zonas industrializadas o urbanas. La bioindustria produce grandes cantidades de residuos orgánicos y la agricultura moderna utiliza cada vez más abonos y plaguicidas en las zonas rurales. La tecnología moderna también es capaz de adoptar medidas enérgicas para frenar estos tipos modernos de degradación de la tierra pero la sociedad se encuentra dividida entre su deseo de satisfacer las «necesidades» actuales y su responsabilidad respecto del bienestar de las generaciones futuras.

LA IMPORTANCIA DE LA REGENERACIÓN DE LA TIERRA A NIVEL MUNDIAL

La degradación de la tierra está vinculada de manera indisoluble a la degradación social. Aunque tratamos de mejorar la calidad de vida de millones de personas, actualmente el empeoramiento constante de las condiciones de vida es ya una realidad para uno de cada seis seres humanos. Algunas zonas agrícolas muy productivas pero densamente pobladas, como el valle del Nilo y el Delta del Ganges, hoy en día necesitan con regularidad alimentos del exterior. El uso no sostenible de la tierra que conduce a la deforestación, a la erosión del suelo, a la desertificación y a otros tipos de degradación de la tierra está íntimamente relacionado con la inversión del progreso económico, la disminución de la producción de alimentos y el deterioro de las condiciones sanitarias. El contexto social de la degradación de la tierra es sombrío y, por consiguiente, es fundamental que las necesidades mundiales se adapten a los recursos de nuestro planeta.

En primer lugar, deberíamos preparar un plan mundial para combatir la degradación de la tierra en el contexto del Programa 21, teniendo en cuenta los problemas de los derechos sobre la tierra y el régimen de propiedad y favoreciendo las iniciativas basadas en la comunidad. Además,

deberíamos lograr un equilibrio entre nuestras poblaciones y la capacidad de carga del medio ambiente a través de programas de planificación familiar adecuados y lograr el equilibrio, igualmente importante, entre nuestras demandas per cápita y la sostenibilidad modificando nuestros valores y prioridades. Para lograr estos objetivos debemos llevar a cabo una investigación coordinada sobre las

relaciones entre la sociedad y el medio ambiente y una educación a todos los niveles que dé lugar a la toma de conciencia y a la acción en el ámbito local. La regeneración de la tierra no es un objetivo en sí misma sino un requisito para el bienestar continuo de la humanidad.

CUADRO 1
DAÑOS DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LOS BOSQUES
EUROPEOS, 1986

Países	Zona de bosques (en miles de hectáreas)	Zona dañada (en miles de hectáreas)	Proporción de los daños (%)
Países Bajos	311	171	55
República Federal de Alemania	7 360	3 952	54
Suiza	1 186	593	50
Reino Unido	2 018	979	49
Checoslovaquia	4 578	1 886	41
Austria	3 754	1 397	37
Bulgaria	3 300	1 112	34
Francia	14 440	4 043	28
España	11 789	3 313	28
Luxemburgo	88	23	26
Noruega	6 660	1 712	26
Finlandia	20 059	5 083	25
Hungría	1 637	409	25
Bélgica	680	111	16
Polonia	8 654	1 264	15
Suecia	23 700	3 434	15
República Democrática			
Alemania	2 955	350	12
Yugoslavia	9 125	470	5
Italia	8 328	416	5
Otros	12 282	—	—
Total	142 904	30 718	22

— Datos no disponibles.

Fuente: Brown y Flavin, 1988.

Después de cursar estudios de geografía física en Holanda, su país natal, **Herman Verstappen** comenzó su carrera trabajando en el Instituto Geográfico del Departamento de Investigación Gubernamental de Yakarta, Indonesia. Trabajó después, de 1957 a 1989, en el Instituto Internacional de Investigaciones Aeroespaciales (ITC) en Holanda y fue nombrado profesor en 1968.

Su interés se centra en la geomorfología aplicada utilizando la tecnología aeroespacial, especialmente en la localización de los riesgos naturales para la prevención de los desastres y el inventario de los recursos. Ha publicado numerosas obras sobre estos temas. Especialista del Sur y Sureste de Asia, ha realizado numerosos estudios en las regiones tropicales.

El profesor Verstappen es presidente de la Unión Geográfica Internacional desde 1992.

BIBLIOGRAFÍA

- Brown, L. R. y Flavin, C., 1988. The earth's vital signs, págs. 3-21. En: *State of the World 1988*. A Worldwatch Institute Report on Progress toward a Sustainable Society, W.W. Norton & Co., Nueva York.
- Brown, L. R. *et al.*, 1990. En: *State of the World 1990*. A Worldwatch Institute Report on Progress toward a Sustainable Society, W.W. Norton & Co., Nueva York.
- Dregne, H. E., 1989. *Agriculture Situation and Outlook Report*, Bethesda, MA: USDA.

Feslm, 1993. *An international framework for evaluating sustainable land management*. *FAO World Soil Resources Report*, 73: 1-73, Roma, FAO.

Postel, S., Halting land degradation, págs. 21-40. En: *State of the World 1989*. A Worldwatch Institute Report on Progress toward a Sustainable Society, W.W. Norton & Co., Nueva York.

Walling, D. E., 1987, Rainfall, runoff and erosion of the land: a global view. En: K. J. Gregory (comp.), *Energetics of Physical Environment*, John Wiley & Son, Nueva York.

Diversidad biológica

FRANCESCO DI CASTRI

Durante los últimos diez años, y especialmente desde la publicación en 1988 del libro del mismo título cuya edición dirigió E. O. Wilson, la diversidad biológica se ha convertido en un término muy de moda. Lamentablemente, no se utiliza con mucha precisión, ya que se le atribuyen diferentes significados, connotaciones e intenciones. Para el público en general, evoca sobre todo la preservación de algunas especies animales y vegetales de gran valor estético o atractivo, como el panda, el elefante, la secoya, las orquídeas, etc. Para los grupos de presión medioambientales, el principal objetivo de sus acciones es conservar lo más intactas posibles partes extensas de ecosistemas amenazados, particularmente en las regiones tropicales (bosques, arrecifes coralinos, pequeñas islas, etc.). Para un político o un empresario, la principal preocupación es la utilización de la diversidad biológica, cuestión en la que entran en consideración los derechos de propiedad de los distintos países y la transferencia de conocimientos técnicos para su aplicación en la biotecnología y la industria, en particular en el sector farmacéutico, y en la mejora de las variedades de cultivos.

Los aspectos geopolíticos generales de una utilización equitativa de la diversidad biológica en el mundo es actualmente una cuestión candente y muy debatida que está relacionada con la aplicación del Convenio sobre la Diversidad Biológica aprobado en Río de Janeiro en junio de 1992 durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD). Aunque se reconoce que aún existen profundas disensiones entre los países del Norte y del Sur, se trata de una verdadera cuestión internacional que atañe a importantes aspectos conceptuales, éticos y económicos.

Definición del término

Demasiado a menudo, incluso la comunidad científica utiliza el término «diversidad biológica» con poco rigor, para referirse sólo algunas veces a determinados grupos taxonómicos (la diversidad biológica de las aves, la diversidad biológica microbiana, etc.) o a un solo nivel de integración (por ejemplo, diversidad biológica molecular o diversidad

biológica de las especies). Tanto se habla de diversidad de las especies que el término casi se ha convertido, erróneamente, en sinónimo de diversidad biológica.

Asimismo, en los medios de comunicación e incluso en muchos libros de texto persisten numerosos mitos acerca de la diversidad biológica, lo que lleva a puntos de vista sensacionalistas o catastrofistas sobre las repercusiones de la biodiversidad y el papel que en ella desempeña el ser humano.

Parecería pues, a partir de esta introducción, que la diversidad biológica es un término casi imposible de definir. Sin embargo, se ha convertido en una verdadera necesidad comprender lo que realmente es, al menos para abordar cuatro cuestiones fundamentales. Primeramente, si queremos que la diversidad biológica alcance un nivel de credibilidad que ya está siendo cuestionado por algunos responsables y por parte de la comunidad científica, es importante desterrar ciertos mitos acerca de esta realidad. En segundo lugar, es esencial eliminar diversas cuestiones que suscitan sin fundamento la polémica entre los países en las negociaciones políticas destinadas a elaborar tratados y convenios. En tercer lugar, la gestión de la diversidad biológica *in situ* debería sustentarse en bases científicas sólidas y no en intuiciones o aproximaciones como ocurre a menudo en la actualidad. Por último, y quizás sea ésta la cuestión más importante, la diversidad biológica debería poder facilitar algo así como un *leitmotiv* que aporte una visión unitaria —destacando su carácter único y universal— del mundo biológico. Hoy día, la biología está demasiado fragmentada en disciplinas aisladas, pero las interacciones conceptuales y operativas pueden aumentar fácilmente si se considera la diversidad biológica desde diferentes niveles de organización, desde la molécula a la comunidad. Aún más, la diversidad biológica está tan íntimamente ligada a la diversidad cultural que lo que ahora se considera una brecha casi insuperable entre ciencia y cultura —desde un punto de vista operativo— puede colmarse más fácilmente en la teoría y la práctica.

Jutro (1993) recoge 14 definiciones recientes del término «diversidad biológica», entre las más utilizadas. Dos

de ellas tienen un carácter más oficial, al haber sido aprobadas por la mayoría de los países.

La más extendida es la de las Naciones Unidas, incluida en 1992 en el Convenio sobre la Diversidad Biológica. Según éste, por diversidad biológica se entiende «la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas».

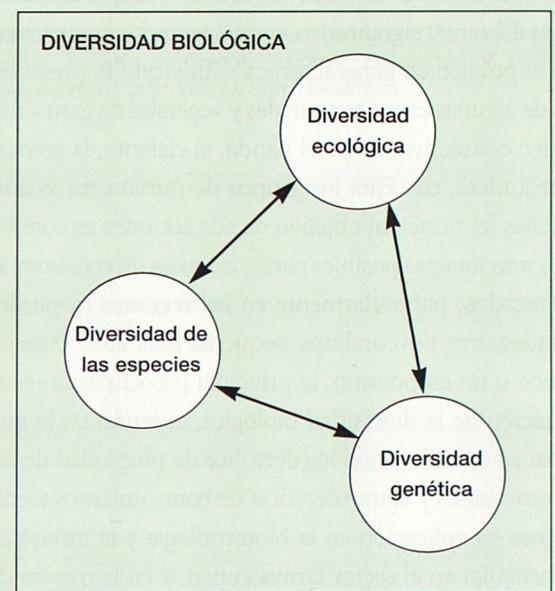
La definición más concisa de todas es la de Global Biodiversity Strategy (Estrategia de la Diversidad Biológica Global) de 1992, que considera la diversidad biológica como «la totalidad de genes, especies y ecosistemas de una región».

Pese a que la participación de la comunidad científica en la formulación de estas definiciones ha sido escasa resulta interesante observar que ambas hacen referencia a los tres principales componentes de la diversidad biológica: los genes, las especies y los ecosistemas. La diversidad dentro de cada especie es la diversidad genética; entre especies es la diversidad de *especies* o *taxonómica*; y la de los ecosistemas es la diversidad *ecológica* o *hábitat*. Un fallo científico en ambas definiciones es que no mencionan las interacciones dentro de las diferentes diversidades y entre ellas. La interacción es el principal mecanismo intrínseco que configura las características y el funcionamiento de la biodiversidad. Otro fallo es que parece haberse hecho caso omiso del concepto de escala pese a que los atributos estructurales y funcionales de la diversidad biológica sólo pueden determinarse teniendo debidamente en cuenta escalas adecuadas de espacio y tiempo.

Habida cuenta de estas consideraciones, la definición más sencilla y funcional de diversidad biológica podría ser *el conjunto y las interacciones de la diversidad genética, ecológica y de las especies en un lugar y en un tiempo determinados* (véase el Gráfico 1).

Hay que subrayar que estas interacciones tienen carácter jerárquico, de modo que las propiedades emergentes —es decir, las propiedades que no existen a un nivel inferior de interacción— surgen al pasar del gen a las especies

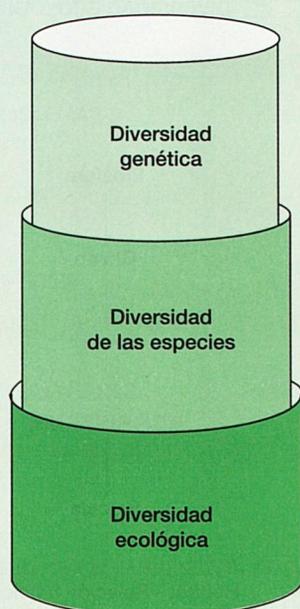
GRÁFICO 1
DEFINICIÓN DE DIVERSIDAD BIOLÓGICA
BASADA EN SUS COMPONENTES
E INTERACCIONES



y de ahí al nivel del ecosistema. Interrelacionando las tres diversidades, como se muestra en el Gráfico 2, se consigue el clásico efecto *zoom* de la teoría jerárquica, según la cual las nuevas propiedades de la diversidad biológica surgen en función de la posición relativa de los tres bloques y del nivel e intensidad de las interacciones. En suma, la jerarquía es un fenómeno central de la diversidad biológica y precisa una teoría general que integre los niveles jerárquicos y explique cómo surgen e interactúan. Para mayor información sobre la teoría jerárquica, véanse Allen y Starr (1982), Salthe (1985), Nicolis (1986), O'Neill y otros (1986), di Castri y Hadley (1988), Vrba (1989) y Vrba y Eldredge (1984).

Es cierto que esta jerarquía no es tal en el sentido estricto del término ya que los genes, las especies y los ecosistemas no pertenecen completamente a la misma categoría jerárquica. El concepto se desarrolla y precisa en el Gráfico 3, donde se ilustra la estructura jerárquica de la diver-

GRÁFICO 2
LA TRILOGÍA DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA
PRESENTADA COMO UN ZOOM JERÁRQUICO



sidad biológica mostrándola como el resultado de la interacción entre tres niveles diferentes de organización: genético, taxonómico y ecológico. De esta manera, se representa la universalidad del mundo biológico, derivándose el principio unificador y el carácter único de la interacción jerárquica de las diferentes diversidades.

Las poblaciones (con sus reservas de genes), las especies y los ecosistemas se encuentran habitualmente en el punto central de la intersección de las tres escalas (Solbrig, 1991). También son los tres elementos principales de la biología de la conservación y, en la práctica, las interacciones entre ellos deberían considerarse en su conjunto con miras a la conservación de especies raras o hábitats amenazados. Con todo, ésta es una interpretación demasiado restrictiva del enfoque jerárquico.

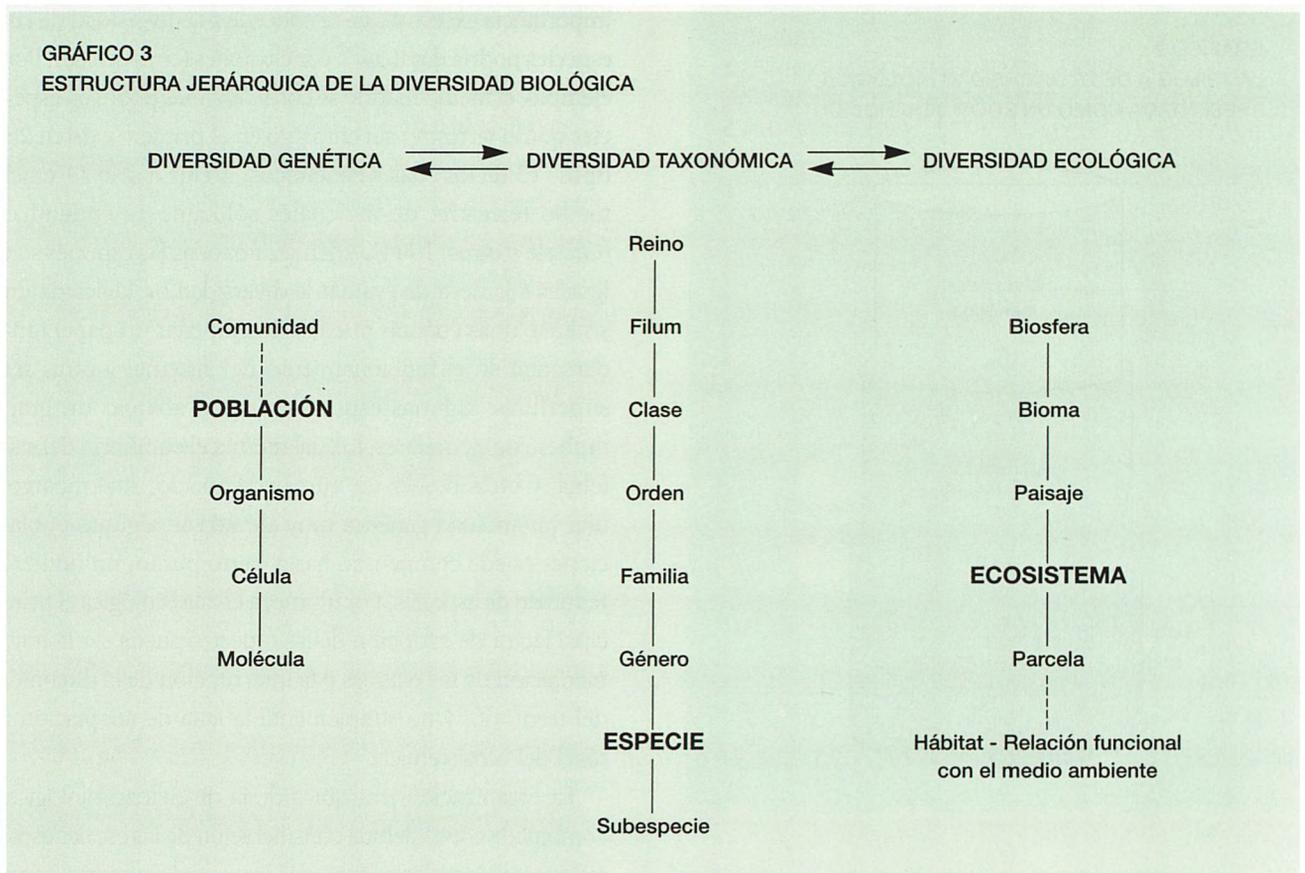
En cuanto a la escala genética, por ejemplo la genética molecular y de la población deberían estar estrechamente vinculadas. Por lo que respecta a la escala taxonómica, la

importancia excesiva que se concede a la diversidad de las especies podría dar lugar a conclusiones tendenciosas. Por ejemplo, el medio marino se considera más pobre en especies que el terrestre; sin embargo en el primero existen 28 tipos (13 de los cuales endémicos), frente a sólo 11 en el medio terrestre, de los cuales sólo uno es endémico (Grassle y otros, 1991). Además, no todas las especies son iguales a la hora de evaluar la diversidad biológica de un sistema: unas cuantas pueden desempeñar un papel fundamental en el funcionamiento del sistema, y otras ser superfluas; algunas especies pueden abarcar un gran número de ejemplares, lo cual merma el equilibrio del sistema, y otras poseer un número reducido; sin embargo, una variabilidad genética muy elevada en algunas poblaciones puede compensar, hasta cierto punto, un número reducido de especies. Por último, a escala ecológica el principal factor de extinción de las especies puede ser la fragmentación de los paisajes o la interrupción de la dinámica del territorio, y no simplemente la falta de adaptación a nivel del ecosistema.

La organización jerárquica de la diversidad biológica, combinada con la debida consideración de las escalas espaciales y temporales apropiadas, no puede tomarse como simple instrumento teórico. Desde un punto de vista práctico, los atributos estructurales y funcionales de la estabilidad, productividad y sostenibilidad del sistema, así como la estructura del funcionamiento del ecosistema (di Castri y Younès, 1990), sólo pueden aclararse si las jerarquías y escalas se consideran interacciones. Lo mismo ocurre, en términos de gestión, con la conservación de las zonas naturales y con la selección, rotación y mezcla de cultivos o plantaciones forestales adecuados. Además, la estabilización y armonización de paisajes tras su deterioro como consecuencia de los prolongados monocultivos o la deforestación masiva debería basarse en la interrelación de los tres principales componentes de la «trilogía» de la diversidad biológica.

Estos fundamentos de la diversidad biológica son igualmente aplicables cuando se adopta un punto de vista evolutivo. Sólo estas interacciones pueden arrojar luz sobre si un determinado nivel de diversidad biológica depende del

GRÁFICO 3
ESTRUCTURA JERÁRQUICA DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA



tiempo evolutivo transcurrido sin grandes perturbaciones o refleja más bien la frecuencia de perturbaciones repetidas en la historia evolutiva (Harper y Hawksworth, 1994). Lo más probable es que ambos procesos estén en el origen de altos niveles de diversidad biológica en diferentes circunstancias ecológicas y evolutivas. El actual debate en torno a la aparición de zonas de megadiversidad está estrechamente vinculado a las consideraciones anteriores.

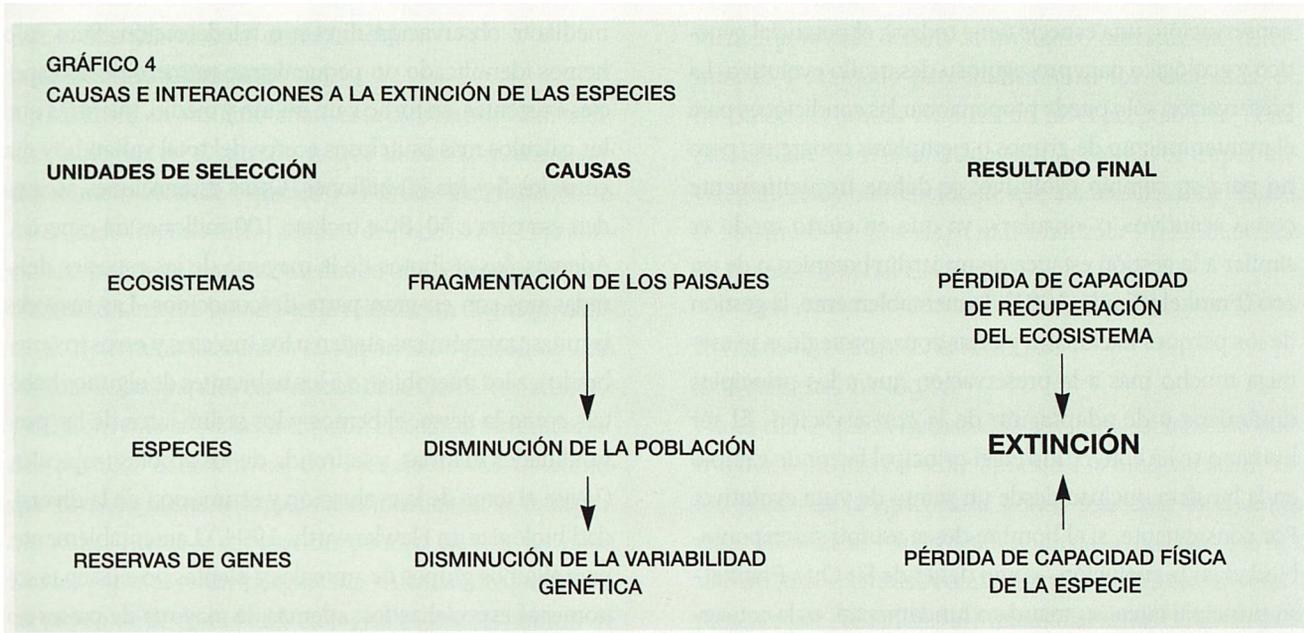
EXTINCIÓN

Adoptando amplias escalas temporales y espaciales, podría decirse que una diversidad biológica determinada es el resultado de coeficientes diferenciales en los procesos de formación y extinción de las especies. La extinción es intrínseca a la trayectoria evolutiva de todas las especies;

debería tratarse desde una perspectiva científica, ajena al catastrofismo emotivo que provoca hoy día este término en la opinión pública y en los medios de comunicación.

Se calcula aproximadamente que las especies que viven en la actualidad en la biosfera representan sólo entre el 5 y el 10 % de las que aparecieron inicialmente y se fueron extinguiendo en los cuatro mil millones de años de la historia de la evolución. El índice actual de extinción se expresa a menudo en miles de especies por año (normalmente se mencionan cifras de 10.000 a 50.000 especies, pero los grupos de presión medioambientales indican otras aun superiores). Todas estas cifras corresponden a aproximaciones muy poco fiables además de referirse en su mayoría a especies aún no definidas; resulta muy difícil debatir, apoyar o refutar cifras relativas a un ámbito biológico desconocido. Sin embargo, cabe suponer que la tasa

GRÁFICO 4
CAUSAS E INTERACCIONES A LA EXTINCIÓN DE LAS ESPECIES



de extinción supera a la de siglos anteriores, que sobrepasa con mucho el actual índice de creación de especies, y que con toda probabilidad es comparable a la de extinciones ocurridas durante los denominados periodos de crisis evolutiva. Lo realmente preocupante es que hoy día la extinción está produciéndose en un periodo extremadamente breve de la escala evolutiva.

El Gráfico 4 ilustra esquemáticamente uno de los mecanismos de la extinción provocada por el hombre. También pone de manifiesto hasta qué punto los tres niveles jerárquicos de los que hablamos anteriormente —que también representan unidades de selección— están estrechamente vinculados e interactúan en problemas cotidianos de orden muy práctico. Contrariamente a lo que se suele decir en los medios de comunicación y reiteran los grupos de presión medioambientales, muy raras veces la extinción es producto de una agresión directa e intencional del hombre contra una determinada especie (importantes excepciones a esta afirmación son algunas especies de mamíferos terrestres y acuáticos de gran tamaño). Más bien es la consecuencia de prácticas comunes como la fragmentación de paisajes y ecosistemas para aumentar las zonas destinadas a la agricultura intensiva o a la silvicultura, la des-

trucción de hábitats con miras a la urbanización y el transporte (ferrocarriles, carreteras, etc.), o el drenaje de pantanos, en particular en las zonas costeras, con fines turísticos o industriales. Sólo teniendo en cuenta los intereses medioambientales en las primeras etapas del desarrollo desde una perspectiva dinámica y generalizada y mediante medidas preventivas y de bajo costo, se puede minimizar el riesgo de reducción de la diversidad biológica. El habitual enfoque «terapéutico» aplicado una vez ocurrido el daño es con demasiada frecuencia oneroso en exceso o se aplica como una forma de solución cosmética.

En la columna central del Gráfico 4 se hace referencia al tamaño de la población de una determinada especie en relación con la fragmentación de paisajes y hábitats. Este factor es de importancia fundamental desde el punto de vista de la gestión. Por encima de un determinado umbral de población es posible hacer una gestión con fines de conservación; por debajo de ese nivel la gestión puede conseguir a lo sumo la preservación de la especie. Es preciso hacer una distinción fundamental entre estos dos términos que, reconocemos, a menudo se confunden o consideran sinónimos. La conservación es un proceso dinámico, frente a la preservación que es un proceso estático. Con la

conservación, una especie tiene todavía el potencial genético y ecológico para proseguir su desarrollo evolutivo. La preservación sólo puede proporcionar las condiciones para el mantenimiento de grupos o ejemplares concretos, pero no para su cambio evolutivo; se define frecuentemente como «cautivo» o «insular», ya que en cierto modo es similar a la gestión estática de un jardín botánico o de un zoo (Frankel y Soulé, 1981). Lamentablemente, la gestión de los parques nacionales y otras zonas protegidas se asemeja mucho más a la preservación que a los principios dinámicos y de adaptación de la conservación. El ser humano se ha convertido en el principal factor de cambio en la biosfera, incluso desde un punto de vista evolutivo. Por consiguiente, si el hombre desea asumir su responsabilidad en la evolución —como defiende Sir Otto Frankel— su principal tarea, su mandato fundamental, es la conservación, el cambio y la evolución continua de acuerdo con las leyes de la diversidad biológica.

ABANDONAR LOS MITOS

La diversidad biológica, en su condición actual, no es simplemente un nuevo enfoque ni un cómodo concepto general para abarcar todas las vaguedades, sino una nueva ciencia incipiente con su propia lógica, una ciencia que aún se enfrenta al drama de desconocer sus fundaciones teóricas y sus aplicaciones. Muchos son los aspectos que quedan sin explicar en este texto, pero sería imposible abordarlos todos en un artículo. Así, prefiero referirme a otras facetas de la diversidad biológica a contrario, echando por tierra algunas de las ideas preconcebidas que actualmente existen sobre ella.

Sabemos cuánta diversidad biológica existe

Con toda probabilidad, no sabremos nunca cuánta diversidad biológica existe en toda la biosfera. Se conoce la diversidad genética de algunas poblaciones de grandes especies, de animales y plantas, de algunos pequeños animales de laboratorio como la *Drosophila*, los copépodos y los ratones, y de algunas especies de microbios. La diversidad ecológica puede estimarse hasta cierto punto

mediante observación directa o teledetección. Pero sólo hemos identificado un pequeñísimo número de las especies existentes, en torno a un millón y medio, mientras que los cálculos más cautelosos acerca del total varían hoy día entre los 5 y los 30 millones. Otras estimaciones ascienden esa cifra a 50, 80 e incluso 100 millones de especies. Además, los atributos de la mayoría de las especies definidas nos son en gran parte desconocidos. Las mayores lagunas taxonómicas atañen a los insectos y otros invertebrados, a los microbios, o a los habitantes de algunos hábitats como la tierra, el bentos y los sedimentos de las profundidades marinas, y la fronda de los árboles tropicales. (Véase el tema de la evaluación y estimación de la diversidad biológica en Hawksworth, 1994.) Lamentablemente, para algunos grupos de animales y plantas no existen taxonomistas especializados; además, la mayoría de países no ofrecen incentivos académicos o profesionales para abrazar esta profesión.

No hay pues, en suma, lugar en el mundo donde se conozca toda la diversidad de especies, y no cabe esperar que incluso en un futuro remoto seamos capaces de reconocer todas las especies de los medios terrestre y acuático. Tendremos, pues, que adaptar nuestra labor a aproximaciones incompletas sobre la diversidad biológica, aproximaciones que, por supuesto, sólo son fiables en la medida en que los métodos de muestreo y los grupos de biota sean comparables.

Toda la diversidad biológica se encuentra en las regiones tropicales

Diversidad biológica es casi sinónimo de vida. Donde hay vida hay biodiversidad, es decir, en toda la biosfera. Es cierto que en las regiones tropicales se dan altos niveles de diversidad biológica (bosques, manglares, arrecifes coralinos, etc.). Sin embargo, niveles similares existen también en ecosistemas de clima mediterráneo de la provincia de El Cabo en Sudáfrica y en el suroeste de Australia, en los bosques tropicales templados de Chile, Tasmania y Nueva Zelandia y en algunos hábitats como los suelos riquísimos en humus de algunos bosques de hoja caduca.

Sabemos cómo está cambiando la diversidad biológica

No sabemos en absoluto cómo está cambiando la diversidad biológica en el mundo ya que nuestro conocimiento del número total de especies y el índice de extinción es demasiado fragmentario, además de poco fiable. Esta deficiencia podría subsanarse mediante una estrategia aceptable mundialmente basada en la realización de un inventario de determinadas zonas y su supervisión periódica. Esta fue una de las grandes esperanzas de la Conferencia de Río y del Convenio sobre la Diversidad Biológica. Sin embargo, dos párrafos consecutivos del Preámbulo del Convenio que revisten bastante lógica en sí mismos, si se interpretan radicalmente y sin matices pueden carecer de valor. Dichos párrafos rezan lo siguiente: «Afirmando que la conservación de la diversidad biológica es interés común de toda la humanidad» y «Reafirmando que los Estados tienen derechos soberanos sobre sus propios recursos biológicos». Estos principios son de por sí incuestionables, especialmente en lo que se refiere a la utilización de los recursos. Sin embargo, en el caso específico del inventario y supervisión de la diversidad biológica, las dos perspectivas se enfrentan entre sí. Por un lado, el proceso se concibe de forma muy centralizada, ya que la condición fundamental es la comparación a nivel mundial. En el otro extremo se apoya un enfoque totalmente centrado en los países: la iniciativa y la aplicación tienen carácter nacional, no se considera apenas lo que ocurre incluso en los países vecinos y no se prevé la existencia de un marco mundial que permita una metodología y una planificación comparables. Es comprensible que el enfoque por países predomine actualmente. El inventario y supervisión se lleva a cabo en numerosos países en desarrollo, con considerable financiación internacional. Los distintos países están eligiendo diferentes grupos taxonómicos, con diferentes métodos de muestreo y a distintos intervalos temporales de supervisión, por lo que resulta difícil prever el resultado de este proceso incluso en los países que ya lo están llevando a cabo. Lo que es seguro es que no se obtendrán resultados útiles para entender la dinámica de la biodiversidad mundial. Desde luego que los países deben participar activa-

mente, pero sólo dentro de un marco previamente determinado y aceptado para intercambiar los resultados, de modo que se pueda alcanzar un nivel aceptable de comparabilidad. Es ésta una cuestión de la mayor importancia, pero estoy convencido de que las actuales dificultades se superarán en una etapa más avanzada y más afianzada de la aplicación del Convenio.

El hombre siempre ha reducido la diversidad biológica

No es cierto que la humanidad sea implacablemente destructiva e intrínsecamente opuesta a la biodiversidad. En los inicios de la agricultura, con la selección de muchas razas domésticas y la diversificación de los paisajes que nos rodean (que son todos construcciones realizadas casi enteramente por el hombre) la humanidad sentó las bases para una mayor diversidad genética y ecológica. Es cierto que ésta no es ya la situación actual en la mayoría de los países del mundo: la variabilidad genética de los cultivos está disminuyendo, la diversidad de las especies se ve amenazada por la extinción y la diversidad ecológica sufre las consecuencias de la deforestación, la desertificación y la destrucción de los paisajes tradicionales. Estoy íntimamente convencido de que algunos de estos procesos se atenuarán por el bien mismo del desarrollo.

Conocemos la función de la diversidad biológica

Contamos con muchas teorías sobre cómo funciona la diversidad genética en el proceso evolutivo, así como sobre la selección de las razas y las especies de plantas y animales domesticados. A nivel del ecosistema, poseemos pruebas de que la biodiversidad contribuye a determinar los distintos niveles de estabilidad, a modificar la productividad y a marcar las pautas de funcionamiento de los sistemas ecológicos, lo que refleja en cierta medida la sostenibilidad. No obstante, desconocemos casi completamente los mecanismos intrínsecos de estos procesos. Sólo una investigación más centrada en las interacciones jerárquicas de la diversidad biológica, como se dijo en párrafos anteriores de este artículo, puede ofrecer una explicación de los mecanismos de funcionamiento y una idea más rigurosa

de las amplias proyecciones de la biodiversidad en el espacio y el tiempo.

La extinción es antinatural

Ya se ha insistido en que las especies aparecen para vivir un espacio de tiempo finito dentro de una perspectiva evolutiva. El único aspecto que puede considerarse «antinatural» es la actual aceleración de la extinción debida cada vez más a la acción humana.

Podemos (y debemos) salvar todas las especies

En cuanto al «podemos», hay que señalar que es absolutamente inevitable cierta disminución de la biodiversidad, en particular la resultante de la conversión de la tierra en zonas de agricultura intensiva y de urbanización, así como de la contaminación del mar.

El crecimiento de la población, la pobreza y la presión económica son los principales factores determinantes. La solución que defienden algunos seguidores de la «ecología profunda» es la reducción drástica y muy rápida de la población humana del planeta (no simplemente del índice de crecimiento de la población). Pero esta disminución drástica sólo podría producirse como resultado de acontecimientos tales como guerras, enfermedades y hambrunas. Además, existen numerosas pruebas de que una leve reducción de la biodiversidad es compatible con el funcionamiento de los ecosistemas y la biosfera.

Más difícil es referirse al «debemos», ya que implica consideraciones filosóficas y éticas, entre las cuales destaca la de que todas las especies tienen los mismos derechos y que el *homo sapiens* es sólo una más de esas especies, sin ventaja evolutiva alguna sobre las demás. No obstante, el hombre es la única especie animal con capacidad para pensar acerca de su propio destino y, sobre todo, se ha convertido, para bien o para mal, en el principal factor de evolución, con una responsabilidad sobre la misma. En términos prácticos y de gestión, resulta casi imposible no adoptar una actitud ligeramente antropocéntrica con respecto a todas (en la medida de lo posible) las demás especies. Desde luego, la igualdad de las especies es un concepto muy relativo, incluso para un fundamentalista de la

preservación de las especies; he visto campañas para salvar ballenas o rinocerontes, pero nunca para proteger al molesto mosquito. Por último, salvar todas las especies implicaría detener la evolución y esto, si fuera posible, sería la acción más «antinatural» jamás emprendida por el ser humano.

Las zonas protegidas son suficientes

La mayoría de los parques o reservas nacionales no son adecuados para aplicar los principios evolutivos de la conservación. Gran parte de ellos son demasiado pequeños y se encuentran aislados respecto de su ambiente. En el caso de cambios climáticos mundiales, actuarían más bien de trampas que conducirían a la extinción (di Castri, 1991). Además, no son representativos de todos los ecosistemas del mundo. De hecho, la mayor parte de la biodiversidad existe fuera de las zonas protegidas, incluso en las tierras dedicadas a la agricultura y el pastoreo. En suma, la conservación, tanto dentro como fuera de las zonas protegidas, debería considerarse una dimensión fundamental de la planificación general de la utilización de la tierra.

La mejor protección es una política de no intervención

La gestión por la humanidad se ha convertido en la condición esencial de la protección y la conservación. Primeramente, puesto que es el hombre quien ha dejado su impronta evolutiva en la mayoría de los ecosistemas, para la regeneración y sucesión de éstos es necesaria la acción humana; esto ocurre particularmente en ecosistemas como las estepas y sabanas, los bosques y montes bajos mediterráneos y muchos ecosistemas montañosos basados en el abancalamiento de laderas y la explotación de praderas. La falta de gestión puede ser la causa de incendios devastadores, de la creciente erosión y de la desaparición de zonas abiertas para animales de pastoreo y sus depredadores. En segundo lugar, sería totalmente irrealista e injustificado fomentar prácticas de conservación sin la participación e intervención de las poblaciones humanas locales afectadas.

Conocemos el valor económico de la diversidad biológica

El valor económico de ciertos genes, especies y ecosistemas es bien conocido –y puede expresarse en términos monetarios– como base para la mejora de plantas y animales domesticados, como material para las industrias química y farmacéutica, como principales ingredientes de la biotecnología y como base para los alimentos. Pero ignoramos el enorme capital existente en las reservas de genes de varios millones de especies desconocidas. Además, resulta muy difícil evaluar los beneficios que aportan y los gastos que ocasionan en términos monetarios las especies y los ecosistemas que desempeñan un papel clave en el ciclo nutriente, la protección de las cuencas, la prevención de la erosión de los suelos, etc. Lamentablemente, los responsables políticos y los industriales tienden a hacer caso omiso de todos los valores que no se expresan en términos monetarios. La colaboración entre los economistas y los científicos de la naturaleza podría contribuir a superar esta dificultad.

La diversidad biológica y el desarrollo son incompatibles

Es innegable que algunas actividades de desarrollo, en particular las relacionadas con la urbanización y la industria, socavan los niveles de biodiversidad. Sin embargo, en este texto se ha insistido repetidas veces en la importancia fundamental de la diversidad biológica en muchos aspectos del desarrollo agrícola e industrial, así como en el mejoramiento de la salud. Los seres humanos empezaron domesticando especies animales y vegetales destinadas al pastoreo y al desarrollo de la agricultura, así como algunos de sus genes con fines de selección para incrementar la productividad, microbios para aplicaciones médicas o agrícolas y ecosistemas para construir más paisajes adaptados a las necesidades del hombre. Es de prever que en un futuro muy cercano estos procesos de domesticación aumentarán de forma casi inconcebible debido a la aparición de nuevas necesidades y nuevas técnicas. La biotecnología es ya un ejemplo de la introducción generalizada de elementos de la diversidad biológica en casi todos los sectores pro-

ductivos. La biodiversidad, con sus tres componentes, será el principal factor que deberemos tener en cuenta a la hora de reconstruir y remodelar el territorio en que vivimos de manera práctica y armoniosa, tras la planificación irracional y desorganizada de los últimos decenios. Como respuesta a los actuales impulsos mundializadores, la diversidad biológica puede contribuir a la planificación del desarrollo regional teniendo en cuenta las ventajas económicas comparativas, además de los antecedentes evolutivos y la historia cultural.

No podemos actuar en tanto no poseamos mayores conocimientos

En un periodo de enorme incertidumbre económica, geopolítica y social, éste es un tipo de afirmación que habría que rechazar más categóricamente, y no sólo en relación con la diversidad biológica. Incluso la información incompleta, facilitada en el momento oportuno, puede servir materialmente de ayuda a los responsables del sector público y privado. Así, aunque quepa criticar el Convenio sobre la Diversidad Biológica por su contenido impreciso, representa de hecho el mejor denominador común en una situación muy difícil de confrontación entre el Norte y el Sur y habida cuenta de la falta de conocimientos sobre demasiados aspectos. Por consiguiente debemos congratularnos de la existencia de este Convenio, pese a toda la polémica y las incertidumbres; Sánchez y Juma (1994) acuñaron el nuevo término «biodiplomacia» para describir el tipo de negociaciones complicadas e insólitas que tuvieron lugar para elaborar este Convenio.

GESTIÓN DE LO DESCONOCIDO

El tipo de acción que es preciso emprender en el campo de la diversidad biológica, en términos algo provocativos puede definirse como nuestro máspreciado aspecto «desconocido». El enfoque cauteloso debiera adoptarse cuando fueran demasiadas las incertidumbres y los elementos imprevisibles. Puede combinarse con otro enfoque en el que la acción emprendida tenga otras ventajas bien determinadas además de las relacionadas con la diversidad bio-

Actividades internacionales en favor de la diversidad biológica

El proceso de negociación del Convenio sobre la Diversidad Biológica y su aprobación han dado lugar en los últimos dos años a algunas actividades internacionales de gran envergadura.

En primer lugar cabe citar el título «Evaluación de la biodiversidad mundial» (*Evaluation de la biodiversité mondiale*), voluminosa obra del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente financiada por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial, en la cual participaron más de 1.100 expertos de unos 80 países.

En otro orden de cosas, la UNESCO organizó en Sevilla, en marzo de 1995, una importante conferencia mundial sobre las Reservas de Biosfera, que culminó en la aprobación de la «Estrategia de Sevilla» y de un marco normativo para la Red Mundial de Reservas de Biosfera. Estos lugares, que actualmente son 325, repartidos en 83 países, permiten establecer un nexo entre la conservación de la diversidad biológica y el desarrollo sostenible de los recursos de los ecosistemas para beneficio de las poblaciones interesadas, al tiempo que sustentan la investigación, la vigilancia permanente y la formación.

La Conferencia de Sevilla imprimió un nuevo impulso a la aplicación, en el marco del Programa sobre el Hombre y la Biosfera (MAB), de este concepto original, que permite mantener, estudiar y utilizar la diversidad biológica en las situaciones más variadas.

Al mismo tiempo, la UNESCO puso en marcha, conjuntamente con el CIUC y las principales organizaciones no gubernamentales afiliadas a este último, un amplio programa internacional de investigación sobre el origen, la composición, el funcionamiento y la conservación de la diversidad biológica, llamado DIVERSITAS. Este programa, cuya secretaría recibe financiación de Francia, tiene su sede en la UNESCO y es administrado por un Comité Científico de Coordinación, comprende en la actualidad los siguientes nueve elementos complementarios: origen, mantenimiento y pérdida de la diversidad biológica; funcionamiento ecosistémico y diversidad biológica; inventario, clasificación e interrelaciones de la diversidad biológica; evaluación y vigilancia permanente de la diversidad biológica; conservación, restablecimiento y utilización sostenible de la diversidad biológica; dimensiones humanas de la diversidad biológica; diversidad biológica de los suelos y sedimentos; diversidad biológica marina, y diversidad biológica microbiana.

Por su amplitud, este programa de investigación reúne las condiciones para prestar asesoramiento científico y técnico a los gobiernos y organismos internacionales para la aplicación del Programa 21 y distintos artículos del Convenio sobre la Diversidad Biológica. La Red Mundial de Reservas de Biosfera facilitará a DIVERSITAS lugares especialmente apropiados para las labores de estudio.

lógica. Es el caso, por ejemplo, de cuando al conservar una determinada parte de un hábitat se consigue también proteger una cuenca de la erosión y regular el caudal, incluso cuando la acción directa destinada a la biodiversidad no sea estrictamente necesaria. De igual forma, la conservación de tierras pantanosas costeras puede servir para proporcionar un hábitat a un ave migratoria, pero es de seguro indispensable para la retención y ordenación de las aguas, así como para la prevención de la erosión costera y la estabilización de la zona litoral.

Las investigaciones encaminadas a solucionar los problemas a fin de reducir la incertidumbre deberían ser un elemento integrante del proceso de desarrollo, en particu-

lar en un caso tan extremo como es la diversidad biológica. Este hecho se reconoce también en uno de los párrafos del Preámbulo del Convenio: «Conscientes de la general falta de información y conocimientos sobre la diversidad biológica y de la urgente necesidad de desarrollar capacidades científicas, técnicas e institucionales para lograr un entendimiento básico que permita planificar y aplicar las medidas adecuadas».

En líneas anteriores de este artículo se ha explicado ya que la existencia de zonas protegidas sólo puede ser eficaz en la medida en que permita constituir redes regionales fiables que formen parte del proceso global de gestión de un territorio (que abarca componentes económicos, sociales,

culturales y educativos, además de intereses medioambientales).

Cualquier disciplina tropezaría con obstáculos insuperables para tratar por sí sola los problemas científicos de la biodiversidad, así como los aspectos de la gestión de la conservación de las especies, los ecosistemas y el material genético de los mismos, y las proyecciones en los sectores industriales y agrícolas. Ninguna disciplina por sí sola (de seguro la genética no puede sola abordar la diversidad genética, la biosistemática la diversidad de las especies o taxonómica, o la ecología la diversidad ecológica) puede tratar de forma global los diferentes aspectos interactivos de la biodiversidad a nivel local o mundial. Si la teoría general de la diversidad biológica, como fenómeno central de la vida, se basa en la teoría jerárquica de niveles sucesivos de organización y en las subsiguientes propiedades emergentes, atañe a la universalidad del mundo biológico, tanto en los aspectos fundamentales como de aplicación. La biodiversidad puede contribuir a esta universalidad desempeñando un papel unificador gracias a su carácter general, interactivo y no exclusivo.

Francesco di Castri nació en Italia y realizó estudios científicos en Milán, Montreal y Santiago de Chile. La mayor parte de sus actividades nacionales de investigación las llevó a cabo en Chile, Francia e Italia, y su labor científica internacional se desarrolló principalmente en el marco de la UNESCO y el Consejo Internacional de Uniones Científicas (CIUC).

En 1971 el profesor di Castri se incorporó a la UNESCO como Secretario del programa sobre el Hombre y la Biosfera y, desde su creación en 1974 hasta 1984, fue Director de la División de Ciencias Ecológicas. De 1990 a 1992 fue Director General Adjunto de la UNESCO, puesto desde el que se encargó de la coordinación de los programas ambientales y de la contribución de la Organización a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD), celebrada en Río de Janeiro en junio de 1992.

El profesor di Castri ha desempeñado numerosos cargos internacionales, entre ellos el de Presidente del Programa Diversitas de investigación UNESCO/UICB/SCOPE sobre la diversidad biológica. Actualmente es director de investigación en el CNRS (Francia), asesor especial del Director General de la UNESCO y miembro de la Mesa del CIUC.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, T. y Starr, T. 1982. *Hierarchy. Perspectives for ecological complexity*. University of Chicago Press. Chicago, 310 págs.
- Di Castri, F. 1991. Ecosystem Evolution and Global Change. En: O.T. Solbrig y G. Nicolis (dir. publ.), *Perspectives in Biological Complexity*. UICB, París: págs. 189-218.
- Di Castri, F. y Hadley, M. 1988. *Enhancing the credibility of ecology: interacting along and across hierarchical scales*. *GeoJournal*, 17 (1): 5-35.
- Di Castri, F. y Younès, T. 1990. Ecosystem Function of Biological Diversity. *Biology International*. Número especial 22: 1-20.
- Frankel, O. H. y Soulé, M. 1981. *Conservation and Evolution*. Cambridge University Press. Cambridge, 327 págs.
- Grassle, J. F.; Lasserre, P.; McIntyre, A. D. y Ray, G. C. 1991. Marine Biodiversity and Ecosystem Function. *Biology International*. Número especial 23: 1-19.
- Harper, J. L. y Hawksworth, D. L. 1994. *Biodiversity: measurement and estimation*. Prefacio *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*. 345: 5-12.
- Hawksworth, D. L. (dir. publ.). 1994. *Biodiversity: measurement and estimation*. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*. 345: 1-136.
- Jutro, P. R. 1993. Human Influences on Ecosystems: Dealing with Biodiversity. En: M. J. McDonnell y S. T. A. Pickett (dir. publ.), *Human and Components of Ecosystems*. Springer-Verlag, Nueva York, págs. 246-256.
- Nicolis, J. S. 1986. *Dynamics of hierarchical systems. An evolutionary approach*. Springer-Verlag, Berlin, 397 págs.
- O'Neill, R. V.; DeAngelis, D. L.; Waide, J. B. y Allen, T. F. 1986. *A hierarchical concept of ecosystems*. Princeton University Press, Princeton, 253 págs.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. *Convenio sobre la Diversidad Biológica*, junio de 1992. PNUMA, Nairobi.
- Saltre, S. N. 1985. *Evolving Hierarchical Systems*. Columbia University Press. Nueva York, 343 págs.
- Sánchez, V. y Juma, C. (dir. publ.). 1994. *Biodiplomacy*. ACTS Press, Nairobi, 370 págs.
- Solbrig, O. T. (dir. publ.). 1991. *From Genes to Ecosystems: a research agenda for biodiversity*. UICB, París, 123 págs.
- United Nations. 1992. Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Río de Janeiro, 3-14 de junio de 1992). Nueva York.
- Vrba, E. S. 1989. What are the biotic hierarchies of integration and linkage? En: D. B. Wake y G. Roth (dir. publ.), *Complex organismal functions: integration and evolution in Vertebrates*. John Wiley & Sons, Dahlem Konferenzen: págs. 379-401.
- Vrba, E. S. y Eldredge, N. 1984. Individuals, hierarchies and processes: towards a more complete evolutionary theory. *Paleobiology*, 10 (2): págs. 146-171.
- Wilson, E. O. (dir. publ.). 1988. *Biodiversity*. National Academy Press, Washington, D.C.
- WRI, UICN, y PNUMA. 1992. *Global Biodiversity Strategy: guidelines for action to save, study, and use earth's biotic wealth sustainably and equitably*. World Resources Institute Publications, Baltimore.

La biotecnología y el desarrollo

RITA R. COLWELL Y ALBERT SASSON

El diccionario Webster define la biotecnología, de una manera algo simplista, como *applied biological science*, es decir, ciencia biológica aplicada. En cambio, el Gobierno de los Estados Unidos de América utiliza una definición más global: se entiende tanto por antigua como por nueva biotecnología *any technique that uses living organisms (or parts of organisms) to make or modify products, to improve plants or animals, or to develop microorganisms for specific uses* (Congress, 1984), es decir, cualquier técnica que utilice organismos vivos (o parte de estos organismos) para crear o modificar productos, mejorar vegetales o animales, o desarrollar microorganismos para usos específicos. El Gobierno de los Estados Unidos de América define la «nueva» biotecnología como *the industrial use of rDNA, cell fusion, and novel bioprocessing techniques* (Congress, 1991), es decir, la utilización industrial de ADN_r, la fusión celular y las nuevas técnicas de bioprocésamiento. Sin embargo, la definición que a largo plazo resulta más descriptiva, entroncada con el mundo de la economía, es la de Vivian Moses y Ronald Cape, pionero este último de la biotecnología empresarial: *making money with biology* (Moses y Cape, 1991), es decir, hacer dinero con la biología.

La biotecnología se ha utilizado con éxito para producir nuevos medicamentos, mejorar la producción agrícola y generar fármacos extraídos de los metabolitos de organismos marinos y además promete grandes avances en otras áreas como la del saneamiento de la contaminación ambiental. Sin embargo, podemos decir que las características singulares de los microorganismos tan sólo han empezado a explotarse para mejorar nuestra vida, sobre todo si tenemos en cuenta su función en los procesos del ciclo de los nutrientes y el clima.

La aplicación más rudimentaria de la biotecnología —la fermentación, es decir, la utilización de microorganismos, como hongos y bacterias, para producir alimentos— es tan antigua como la misma civilización. La tecnología de la fermentación apareció en la antigua China, donde se utilizaban hongos para fermentar los alimentos, y en Egipto, donde la elaboración de cerveza y la fabricación de pan eran empresas asociadas. El pan, el queso, el yogur, el vinagre, la salsa de soja, el requesón, la cerveza y el vino son

precisamente algunos ejemplos de productos obtenidos mediante la fermentación.

A finales del siglo XVIII, los agricultores habían aprendido a alternar los cultivos para que las nuevas cosechas repusieran nutrientes en una tierra que carecía de ellos. Incluso antes de conocer la ciencia de la genética, se producían por selección nuevas variedades de cultivos y animales con las cualidades deseadas. Con la llegada de la ingeniería genética, de estas prácticas antiguas surgieron nuevas tecnologías (Kay, 1993).

LA INGENIERÍA GENÉTICA: UN NUEVO MUNDO

Veinte años después del descubrimiento de la estructura de la molécula del ADN por Watson y Crick, se inició el camino que había de conducir a la ingeniería genética comercial. Stanley Cohen, de la Universidad de Stanford, Herbert Boyer, de la Escuela de Medicina de la Universidad de California (San Francisco), y sus equipos consiguieron clonar un gen en un plásmido bacteriano, el primer ADN recombinante. En 1980, obtuvieron una patente de esta técnica que produce recombinantes o ADN_r. También en 1980, en el juicio de Diamond contra Chakrabarty, el Tribunal Supremo de los Estados Unidos de América determinó que los microorganismos podían patentarse, abriendo una nueva vía comercial para la ingeniería genética.

La primera compañía de biotecnología de los Estados Unidos de América, Genentech, se fundó en 1976. Ahora, casi veinte años después, sólo en los Estados Unidos existen más de 1.300 empresas dedicadas a la biotecnología. En 1981, el primer producto aprobado en dicho país llegó al consumidor: una prueba de diagnóstico basada en anticuerpos monoclonales. Al año siguiente el primer ADN recombinante farmacéutico, Humulin[®] de Genentech (Eli Lilly), insulina humana recombinante, recibió su aprobación para la venta en los Estados Unidos de América y el Reino Unido. Las ventas de la marca registrada Humulin en 1993 ascendieron a 560 millones de dólares EE. UU. Ese mismo año se aprobó en Europa la primera vacuna animal recombinante contra la colibacilosis. Para muchos, el

periodo 1981-1987 es el del gran salto biotecnológico en los Estados Unidos: se crearon un promedio de 90 empresas por año, es decir, se constituyeron un total de 631 sociedades durante ese periodo. Aunque la mayoría de las empresas dedicadas a la biotecnología no han consolidado todavía sus beneficios, gran número de productos han entrado en el mercado (Congress, 1991). El factor estimulante de las colonias de granulocitos humanos de la marca registrada Neupogen de Amgen se convirtió en el fármaco biotecnológico más vendido en los Estados Unidos, con una facturación neta de 719 millones de dólares.

En 1994, las empresas de biotecnología de los Estados Unidos tenían un valor de mercado de 41.000 millones de dólares, con una inversión global en I+D de 7.000 millones de dólares y 103.000 empleados, todo ello en una industria que veinte años antes no existía. A efectos comparativos, añádase que la industria farmacéutica de los Estados Unidos, que ha invertido mucho en biotecnología, realizó en 1994 una inversión total en I+D de 13.800 millones de dólares.

Las cuestiones políticas y los mercados con poca capacidad económica dentro de los Estados Unidos frenaron el número de empresas constituidas durante 1994. De hecho la industria estadounidense de la tecnología biológica más que disminuir tal vez esté madurando para asumir posiblemente una nueva función en la economía mundial. En vez de comportarse agresivamente desde el punto de vista de la gestión, las nuevas empresas pueden servir de reserva para efectuar la investigación colectiva de las grandes empresas farmacéuticas, que a su vez fabricarán y comercializarán los productos. Se está produciendo un cambio importante en la estructura de la industria de la biotecnología que consiste en la aparición de empresas pequeñas. Las grandes empresas, como las mayores firmas farmacéuticas, adquieren empresas más pequeñas dedicadas a la biotecnología y, dado que hay poco dinero en el mercado inversor para el crecimiento empresarial, muchas de ellas buscan alianzas estratégicas en Estados Unidos o en el extranjero para compartir la financiación y las oportunidades financieras.

Este desarrollo puede ser beneficioso para las empresas farmacéuticas y biotecnológicas asiáticas, que buscan productos a cambio de permitir el acceso a sus mercados. Sin embargo, muchos países menos adelantados, que no tienen grandes empresas farmacéuticas nacionales, han de buscar fuera de sus fronteras los modelos que desean imitar sus incipientes industrias de tecnología biológica.

Los Estados Unidos no son el único proveedor de crecimiento biotecnológico. En 1993, Ernst & Young localizó 386 empresas de tecnología biológica en Europa (Lucas *et al.*, 1994), la mayoría de las cuales estaban situadas en Alemania, Bélgica, Países Bajos y el Reino Unido. De 1986 a 1992, los inversores inyectaron 530 millones de ecus (1 ecu equivale aproximadamente a 1,24 dólares) en la industria europea de la biotecnología. KPMG cita los principales países en el campo de la biotecnología en Europa occidental: Alemania, Bélgica, Dinamarca, Francia (cuyo volumen de mercado de productos biotecnológicos en 1991 fue de 115 millones de dólares, 29 de los cuales fueron productos importados), Italia (con un volumen de mercado biotecnológico estimado en 1.500 millones de dólares en 1995), Países Bajos (cuyas ventas de productos y procesos biotecnológicos alcanzaron en 1991 220 millones de dólares), Reino Unido y Suecia (KPMG, 1993). En 1993, Canadá tenía 310 empresas de tecnología biológica, con unos ingresos de 1.670 millones de dólares y el 61 % de las ventas totales destinado a la exportación (Going y Winter, 1994). El 10 % de las exportaciones de biotecnología del Canadá se destina al Japón, en tanto que otro 10 % va a China, la India, América del Sur y el Caribe.

Existen algunas empresas en América Central y del Sur (principalmente en Brasil y México) y en Asia (excluido el Japón). Hay unas 200 empresas de tecnología biológica en Australia y otras 40 en Nueva Zelanda (KPMG, 1993).

La industria japonesa de biotecnología se diferencia de la industria empresarial de los Estados Unidos, Canadá, Europa y Australia. Gran parte de la I+D japonesa en biotecnología se lleva a cabo en universidades e institutos de

investigación, o en cooperación con sus grandes empresas farmacéuticas, sociedades de productos alimenticios, empresas cerveceras y gigantes de la electrónica (KPMG, 1993). La inversión en I+D de las 10 primeras empresas farmacéuticas japonesas equivale solamente a una quinta parte de las inversiones de esta clase realizadas por las empresas de los Estados Unidos.

Existen en biotecnología diversos segmentos de mercado y varios sectores de investigación, los más importantes de los cuales son el médico, el agrícola, el marino y el ambiental.

LAS TECNOLOGÍAS BIOMÉDICAS

En los Estados Unidos, y en menor grado en el Canadá y Europa, la mayor parte de la industria biotecnológica se centra en el sector biomédico; terapias y diagnósticos constituyen el 68 % de esa industria en los Estados Unidos, el 43,7 % en Canadá y aproximadamente el 43 % en Europa. Las ventas de la industria terapéutica en los Estados Unidos se incrementaron de 1993 a 1994 hasta alcanzar un total de casi 20.000 millones de dólares.

La biotecnología médica incluye principalmente fármacos recombinantes y equipos de diagnóstico mediante enzimas, pero el diseño racional de fármacos que se planean para adaptarse a una molécula determinada, produciendo una respuesta limitada que puede derivar en el control del proceso de la enfermedad, se ha convertido en una parte importante de la biotecnología médica. Gracias al mayor conocimiento de la bioquímica básica de la función celular normal y anormal, los científicos posiblemente podrán producir medicamentos que impidan el crecimiento anormal de las células cancerígenas o que permitan la detección de anomalías en el ADN que indiquen el comienzo de cambios cancerosos y, en consecuencia, prevengan el cáncer. El propósito es eludir la respuesta inmunitaria que registran los propios tejidos en las enfermedades autoinmunitarias como la esclerosis múltiple y el lupus eritematoso. Existen también esperanzas en la utilización de pequeñas moléculas para combatir las enfermedades neurológicas degenerativas o para

estimular el nuevo crecimiento de las células neurológicas en las afecciones como la enfermedad de Alzheimer, la esclerosis lateral amiotrófica, las lesiones de cabeza y columna vertebral, y el accidente cerebrovascular o apoplejía. Entre los fármacos recombinantes que ya han tenido éxito se encuentran la insulina humana recombinante, la hormona del crecimiento, la interferona, el activador del tejido plasminógeno, la eritropoyetina y otros factores estimulantes de las células sanguíneas. Por tanto, las empresas biotecnológicas y farmacéuticas tienen legítimamente muchas esperanzas en el potencial económico y médico de la próxima generación de fármacos.

Entre los diagnósticos basados en anticuerpos que han tenido más éxito están la prueba del embarazo, que ahora es tan sencilla de utilizar que puede comprarse sin receta en los Estados Unidos y en Europa y aplicarse en casa. Las pruebas de los virus de la inmunodeficiencia humana se venden en todo el mundo y se fabrican en muchos países. Los anticuerpos monoclonales, la mayoría de los cuales se utilizan en estas pruebas, tienen un mercado en los Estados Unidos que para este año se estima en 1.200 millones de dólares, y en casi 4.000 millones para el final de siglo. Como sea que las pruebas son cada vez más precisas y fáciles de utilizar, los fabricantes de equipos de prueba prevén muchas aplicaciones, incluso en áreas rurales, por medio de técnicos con una formación mínima. Por ejemplo, algunas empresas han enviado personal a China y América del Sur para formar técnicos en la utilización correcta de pruebas de esta clase.

Se espera que las vacunas recombinantes contribuyan de manera importante a mejorar la salud de la población mundial. La vacuna recombinante de la hepatitis B se utiliza ya en todo el mundo. Una vacuna del VIH podría ser de enorme utilidad, especialmente en aquellos países en que ese virus está muy extendido. Desgraciadamente, no se han obtenido grandes resultados y no se ven tampoco grandes perspectivas, por lo menos hasta ahora. Tampoco se pone gran empeño en la investigación sobre vacunas de VIH que podrían beneficiar a personas que no residen en países desarrollados y que sufren un tipo de VIH diferente

del que se ha encontrado en los Estados Unidos o en Europa occidental. En cambio, se están buscando activamente y tendrán un efecto inmediato sobre la salud mundial (Cohen, 1994) vacunas contra la malaria, el virus respiratorio sincitial (VRS), el rotavirus (que causa una grave diarrea que amenaza la vida de los niños), el *streptococcus pneumoniae* (el neumococo que causa la neumonía bacteriana) y el cólera. Las nuevas vacunas y combinaciones de vacunas pueden dar por resultado la inmunización de un mayor número de niños en todo el mundo. Desgraciadamente, un estudio reciente señala que el mercado de las vacunas se evalúa en sólo 3.000 millones de dólares, una cantidad relativamente insignificante comparada con las ventas mundiales, por valor de 1.200 millones de dólares, de un solo nuevo fármaco biotecnológico, la eritropoyetina humana recombinante Epogen (marca registrada de Amgen).

Los sistemas de administración de fármacos constituyen una parte importante del componente biomédico de la industria biotecnológica. Los nuevos métodos de administración de vacunas —por medio de inyecciones, atomizadores intranasales, métodos de administración por fases y otros que se están desarrollando— y también los fármacos pueden revolucionar la asistencia sanitaria en los países en desarrollo y de las comunidades pobres o rurales de los países desarrollados.

En otros mercados de biotecnología médica mucho más pequeños y especializados se siguen regímenes de tratamiento como la terapia génica. Dentro de este último concepto se encuentra la «terapia celular», que trata las células del paciente. Un ejemplo de ello es el autotransplante de médula ósea, en que se saca la médula del paciente, se eliminan las células cancerígenas si existen, se hace crecer de nuevo la médula en un cultivo de tejido y se reinyecta en el paciente —que suele tener un cáncer avanzado— después de haberlo sometido a una terapia para destruir la médula ósea restante. En la terapia génica, cuya utilización en la actualidad es muy limitada y se emplea solamente para finalidades de investigación, un gen normal se inserta en células anormales utilizando un portador, por ejemplo, un virus. Estas técnicas son prohibitiva-

mente caras y, en consecuencia, su utilización es muy limitada. La terapia génica requiere centros médicos de alta tecnología y una elevada formación de todo el equipo directivo que participe en el cuidado del paciente. Es evidente que, incluso en los países desarrollados, estos tratamientos sólo están al alcance de los muy ricos, los muy bien asegurados o los inscritos en pruebas clínicas patrocinadas.

LA BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA

La biotecnología agrícola representa un segmento creciente de la industria: por ejemplo, el 8 % en los Estados Unidos, el 20 % en Europa y el 28 % en Canadá. El mercado de la biotecnología agrícola aumentó en un 158 % sus ventas entre 1993 y 1994.

La mejora de los cultivos

Se cree que la biotecnología agrícola puede convertirse en la aplicación más importante de la biotecnología en los países en desarrollo. El desarrollo de las plantas transgénicas, el control de las plagas biológicas, las técnicas de cultivo de tejidos para la agricultura, los productos microbianos para el ciclo de nutrientes, los diagnósticos patógenos de cultivos y la elaboración del mapa genético de las cosechas tropicales son las principales preocupaciones en África, Asia, América Central y del Sur y Oriente Medio. En los países desarrollados el término que se utiliza para definir el valor económico de los productos de biotecnología agrícola es «valor añadido». Por consiguiente, la tecnología biológica, en los Estados Unidos, Canadá, Europa, Japón y Australia, tiene por objetivo producir frutas, verduras, legumbres, hortalizas y cereales que gracias a una manipulación genética sean mucho más provechosos, o produzcan mayores beneficios a las entidades comerciales que los productos híbridos normales.

Aumentar la transportabilidad es un factor importante en zonas en que la fruta, las verduras, las legumbres y las hortalizas deban recorrer largas distancias para llegar al mercado. Por ejemplo, una de las plantas transgénicas es el tomate Flavr Savr (marca registrada de Calgene) en el

cual la adición de un gen de «acción retrógrada» produce un tomate que sólo tiene pequeñas cantidades de enzima madurador o poligalacturonasa, gracias a lo cual puede ser transportado con menor pérdida de sabor y maduración. Como sea que muchos países desarrollados dependen de los países en desarrollo en lo que se refiere a las frutas, especialmente durante el invierno y en la primera fase de la primavera, estas tecnologías pueden aumentar la comercialización de las cosechas importadas.

Asimismo, la introducción de un ADN extraño puede mejorar la calidad proteínica de algunos alimentos, una consideración importante para los países en desarrollo no sólo en el caso de los alimentos humanos, sino también en el del pienso para los animales. Los investigadores trabajan también para mejorar las cualidades nutritivas de los almidones y los aceites, así como el control de las plagas biológicas, mediante una técnica utilizada en Asia durante varios milenios que ha hecho grandes progresos desde la importación del *Bacillus thuringensis* por los Estados Unidos desde China a finales del decenio de 1970. No sólo se ha conseguido la inclusión de dicho bacilo en muchas plantas, entre ellas los cereales, sino que también se ha fabricado por medio de técnicas recombinantes para su utilización con atomizador. Otro medio de control de las plagas biológicas es la resistencia vírica incorporada al genoma de los vegetales. En China comercializan un tomate resistente a los virus y en México realizan pruebas de patatas igualmente resistentes a los virus. Los científicos de Costa Rica trabajan para introducir genes resistentes a los virus en el meloncillo. Recientemente, los investigadores han identificado muchos genes de los propios cultivos que proporcionan resistencia a las enfermedades. Que estos genes puedan introducirse en especies no resistentes tan sólo es una cuestión de tiempo.

Un campo importante de la biotecnología agrícola será la utilización de genes marcadores o «informadores» en las especies transgénicas. Estos genes están acoplados a los genes funcionales introducidos en las células de los vegetales y su presencia indica si los genes funcionales están actuando. Recientemente, investigadores del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y de la Uni-

versidad de Wisconsin insertaron un gen de la proteína fluorescente verde, derivado de la medusa *Aequorea victoria*, en células de naranjos, lo que constituye una combinación única de las biotecnologías agrícola y marina y un ejemplo pionero de otras singulares introducciones genéticas que están por llegar.

La mayoría de las mejoras que pueden conseguirse en las cosechas dependen del perfeccionamiento de las técnicas de cultivo de tejidos vegetales y de las aplicadas para la micropropagación de plantas. En el cultivo de tejidos, las células individuales se separan, se modifican genéticamente para obtener los rasgos deseados y se hacen crecer en medios nutrientes. Los intensificadores del crecimiento hormonal, los nutrientes (algunos de los cuales se obtienen por medio del cultivo de tejidos) y otros aditivos determinan la viabilidad de las células cultivadas. En la micropropagación, las plántulas diminutas generadas por células desarrolladas en cultivos de tejidos, todas genéticamente iguales, pueden hacerse crecer en cultivos preparados para su distribución a los agricultores.

Los productos agrícolas no se convierten siempre necesariamente en productos alimenticios para el mercado de consumo. De trozos o desperdicios de vegetales pueden producirse mejores plásticos y artículos biodegradables para usar y tirar. Los alcoholes y otros combustibles pueden acabar con los residuos vegetales, como los cascabillos y los tallos de los cereales. Los vegetales y los animales pueden manipularse genéticamente para producir fármacos y otras moléculas biológicamente activas. De hecho, todo el programa dedicado al tabaco que lleva a cabo actualmente el USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) sólo tiene por finalidad investigar la producción de compuestos bioactivos generados por plantas de tabaco transgénicas.

Los vegetales, como el hombre, sufren enfermedades y por tanto es importante que las pruebas de diagnóstico que se desarrollen sean fáciles de utilizar y puedan emplearse a tiempo para detectar enfermedades.

Otro importante campo de la biotecnología agrícola es la utilización de fertilizantes biológicos. La producción agrícola puede aumentarse no sólo con la manipulación

directa de las plantas sino también mediante la adición de microorganismos existentes en la naturaleza o genéticamente manipulados (Mulongoy *et al.*, 1992). Algunos de estos organismos pueden producirse en dispositivos de fermentación en tanto que otros han de criarse en plantas huésped.

La crianza animal

Uno de los primeros productos biotecnológicos aprobados que ofreció el mercado fue una vacuna de ADN recombinante contra la colibacilosis. De esta forma, la crianza animal fue uno de los primeros sectores en que se introdujo un producto biotecnológico comercial. Animales transgénicos como el cerdo y la vaca pueden manipularse para obtener características que les permitan una mejor supervivencia en hábitats marginales, la producción de más carne de mejor calidad o incluso la producción de moléculas farmacéuticas recombinantes destinadas al mercado de la asistencia sanitaria humana. El perfeccionamiento de las técnicas de fertilización *in vitro* (FIV) en el ganado permitió a los criadores producir embriones múltiples de vacas y terneros de la mejor calidad. Con esta tecnología, las vacas gestantes no necesitan ser las madres genéticas. La biotecnología no sólo puede conseguir animales con mejor calidad nutritiva, sino mejorar la salud de estos animales con nuevas vacunas y métodos de diagnóstico. La mejora de la salud animal puede hacer aumentar el comercio de la carne, los productos derivados y los animales vivos, que en la actualidad se ve restringido debido al temor de extender enfermedades. Por ejemplo, el USDA, la Escuela de Medicina de la Universidad de Yale y Virogenetics, Inc., de Troy (Nueva York), una empresa de tecnología biológica especializada en vacunas, produjeron una vacuna manipulada genéticamente contra la encefalitis japonesa del cerdo utilizando el virus *Vaccinia* y el virus de las pústulas del canario. En la actualidad se están realizando pruebas sobre el terreno. Debido a la preocupación que los Estados Unidos tienen por evitar la importación de esta enfermedad desde Asia, el mercado de esa vacuna puede ser importante.

Uno de los productos biotecnológicos que ha provocado más controversia pública en este campo ha sido la soma-

totropina bovina (STB) recombinante u hormona del crecimiento, creada por Monsanto. La STB sirve para incrementar la producción —entre un 10 y un 20 % aproximadamente— de las vacas lecheras, pero muchas regiones se oponen a su utilización por razones de salud (véase más adelante).

LA BIOTECNOLOGÍA MARINA

Los océanos representan la última gran frontera del descubrimiento de nuevas sustancias, fármacos y alimentos.

Sin embargo, la biotecnología marina representa tan sólo un pequeño segmento de la industria biotecnológica —en los Estados Unidos hay aproximadamente 85 empresas, es decir, el 7 % de todas las compañías dedicadas a biotecnología— y tiene aplicaciones en medicina, agricultura, ciencia de los materiales, química de los productos naturales y saneamiento biológico. Debido a la proximidad de la mayoría de los países tropicales a los océanos y a su clima, estos países están especialmente predispuestos para dedicarse a la biotecnología marina. La acuicultura marina produjo en el mundo 14 millones de toneladas de pescado en 1991 con un valor de mercado aproximado de 28.000 millones de dólares.

La acuicultura es la rama de la biotecnología marina que más se relaciona con la agrícola y a menudo se incluye en este último apartado. Se espera que la demanda mundial de pescado y mariscos se incremente en un 70 % en los próximos 35 años. Por consiguiente, la acuicultura mundial necesitará multiplicar por siete la producción para el año 2025 con el fin de satisfacer la demanda. Desgraciadamente, este aumento de la demanda llega en un momento en que las pesquerías mundiales están excesivamente explotadas o «extinguidas comercialmente». El USDA prevé asistencia biotecnológica para la mejora de la gestión de las capturas y la reproducción de las especies que dé como resultado especies más rentables que aprovechen mejor las disponibilidades de alimentos, y una producción de organismos más saludables y la mejora de su calidad alimenticia y nutritiva. Además, la acuicultura puede producir orga-

nismos que se utilicen como modelos biomédicos en la investigación, así como reservas para la producción de moléculas bioactivas y organismos útiles en el saneamiento biológico. La acuicultura ya no es un medio de producir alimentos lujosos, por ejemplo, langostas, sino una solución fundamental de los problemas de las pesquerías mundiales.

La acuicultura de las algas, un arte antiguo en Asia, no sólo produce algas, sino también complementos alimenticios como los ácidos grasos omega-3 y los carotenos beta obtenidos de los cultivos de microalgas.

Los polisacáridos de algas son una mercancía valiosa y un producto natural muy codiciado.

La biotecnología marina tiene muchas aplicaciones en sectores distintos de los relacionados con la producción de alimentos. Los productos marinos naturales tienen aplicaciones en campos tan trascendentales como la biología molecular y el saneamiento biológico para la producción de adhesivos y productos farmacéuticos. Los enzimas aislados de los archae termófilos, microorganismos que al principio se creía que eran bacterias, algunos de los cuales viven en los sumideros hidrotermales de los fondos marinos, son fundamentales para los especialistas en genética molecular que llevan a cabo la determinación de las secuencias del ADN. El agar, un ingrediente importante en los sustratos nutrientes para el crecimiento de los microorganismos cultivados, y la agarosa, utilizada para hacer geles destinados a la genética bioquímica y los estudios proteínicos, proceden ambos de las algas.

La fuerza de los adhesivos producida por organismos marinos como los mejillones y los percebes hace tiempo que está reconocida, y con el advenimiento de las técnicas biomoleculares modernas los científicos han podido estudiar y duplicar algunos de estos materiales.

Organismos marinos producen algunas de las más poderosas toxinas naturales conocidas por la ciencia. Estas toxinas pueden utilizarse en aplicaciones de investigación como los estudios de las conexiones neuromusculares, en las que se concentra la mayoría de su actividad tóxica. También pueden producir poderosos fármacos antineoplásticos.

El control del medio ambiente marino nos puede dar la clave de la degradación ambiental y para el estudio de la ecología marina, incluido el problema de la contaminación del litoral por patógenos bacterianos.

LA PROTEÍNA DE ORGANISMOS UNICELULARES

La producción de proteína en los organismos unicelulares (SCP) —una masa de microorganismos y contenido nutriente para piensos y la alimentación humana— tiene como mínimo treinta años de historia (Hamdan y Senez, 1992). Al principio se trabajaba sobre los hidrocarburos como material de referencia, es decir, sobre nutrientes. El aumento del precio del petróleo hizo que la SCP no fuera rentable. De ahí que la investigación al respecto no haya progresado de manera significativa durante los últimos veinte años. Se han utilizado bacterias y levaduras para fermentar productos del petróleo, metanol, gas metano, lignocelulosa, subproductos de las fábricas de papel (lejía negra sulfítica), melazas, suero lácteo y otros subproductos de la fermentación industrial. Sin embargo, deberá aumentarse su rendimiento antes de que estos procesos sean viables económicamente.

LA BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El saneamiento biológico, o limpieza de los ambientes contaminados, representa una gran fuerza de mercado en la tecnología biológica, cuyo potencial sólo se ha reconocido recientemente. En los Estados Unidos, las ventas de productos han aumentado en un 81 % en el último año en las categorías de química ambiental y servicios, hasta alcanzar un total de 69.900 millones de dólares. Las leyes federales de los Estados Unidos que exigen la limpieza de los vertederos de residuos tóxicos, las zonas de minas abiertas, las cuencas y otros lugares contaminados han provocado el crecimiento del mercado del saneamiento biológico, que puede alcanzar 500 millones de dólares por año antes del 2000 (NRC, 1993), según un informe reciente del Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos. ¡Una estimación menos moderada asegura que los Estados Unidos se gastarán en saneamiento de los

vertederos de residuos peligrosos del país 1,7 billones de dólares en los próximos treinta años! Gibson y Saylor, 1992). En ese mercado ni siquiera se incluyen los lugares contaminados que se conocen de las naciones del antiguo bloque soviético. Sin embargo, los países occidentales han ofrecido –pero no pagado– casi 1.000 millones de dólares para limpiar estas zonas. Desde luego, un porcentaje importante de esos lugares será sometido a saneamiento biológico. En 1993, el 10 % de las empresas de biotecnología del Canadá trabajaban en el campo ambiental, por ejemplo, en gestión de residuos, biomasa, saneamiento y reutilización de materiales. En Europa existen desgraciadamente pocas empresas dedicadas a la biotecnología ambiental para hacer una evaluación válida desde el punto de vista estadístico.

En el saneamiento biológico ambiental se utilizan organismos existentes en la naturaleza y organismos manipulados genéticamente, especialmente microorganismos. La práctica actual consiste en alterar el medio ambiente de los microorganismos existentes en la naturaleza para hacer que actúen con mayor rendimiento, lo que se llama «la potenciación biológica», que, en general, supone la adición de nutrientes, habitualmente nitrógeno y fósforo, así como el control del oxígeno y el contacto con el agua (Atlas, 1993). La contaminación por hidrocarburos, es decir, la producida por los vertidos de petróleo, se sana en la actualidad utilizando esta tecnología. En cambio, otros contaminantes son más recalcitrantes. Algunos compuestos aromáticos, los policloruros de bifenilo (PCB) y otras sustancias pueden eliminarse utilizando microorganismos manipulados genéticamente y modificados para degradar la sustancia de que se trate o para funcionar de una manera determinada en el medio ambiente. Por ejemplo, la putrefacción blanca natural del *Phanerochaete chrysosporium* puede degradar los PCB, el DDT, el cianuro, el TNT y otros contaminantes tóxicos del suelo. Los componentes celulares, como los enzimas y los tensioactivos biológicos, pueden utilizarse también como limpiadores ambientales.

La limpieza del vertido de petróleo causado por el Exxon Valdez permitió un útil estudio del saneamiento biológico.

La aplicación de un fertilizante oleofílico dio por resultado la intensificación de la degradación biológica, por medio del enriquecimiento de los organismos que degradan el petróleo, aunque todavía quedan algunas cuestiones que es preciso dilucidar sobre la eficacia de esta técnica. Se usaron también otros fertilizantes al mismo tiempo que se llevaba a cabo un aumento de determinados nutrientes y la adición de microorganismos. La potenciación biológica fue claramente eficaz. Con todo, ya se conocía la eficacia de la adición de microorganismos.

Se han propuesto muchos métodos biológicos para el tratamiento de lugares contaminados. Por ejemplo, un método que conocen muchos jardineros, propietarios de casas unifamiliares y agricultores es el de la compostación, en el que las bacterias y los hongos descomponen la materia orgánica, o el tratamiento de las tierras contaminadas en presencia de oxígeno. La compostación se utiliza para limpiar residuos de petróleo en el litoral y los suelos contaminados por TNT. Algunas técnicas pueden utilizarse *in situ*, donde la contaminación tiene lugar, inyectando oxígeno y nutrientes mediante material especial. Tal vez convenga llevar material de supervisión al lugar de los hechos para determinar la eficacia de la acción y controlar el proceso de degradación.

Los metales pesados pueden eliminarse de los suelos contaminados con plantas que absorban los metales y los concentren; es decir, mediante el «fitosaneamiento». Luego las plantas pueden quemarse para aprovechar nuevamente los metales y para generar electricidad. En la actualidad los investigadores estudian la producción de plantas transgénicas con mayor capacidad de absorción de los metales.

El saneamiento *ex situ* se hace en un biorreactor o sistema de filtración, algunas veces en plantas industriales u otras instalaciones, pero no necesariamente en el lugar contaminado.

Una combinación interesante de saneamiento *in situ* y *ex situ* es la utilización del llamado *sea sweep*, un absorbente que es un material tratado hecho de troceados de madera. Absorbe los hidrocarburos vertidos y se utiliza para eliminar los derrames de petróleo. Una vez usado, se recoge y se degrada por medio de la compostación.

Se ha descubierto que la cascarilla de la soja y del arroz, el salvado del arroz y la pulpa de la remolacha azucarera aglutinan los metales y otros residuos industriales y pueden resultar muy útiles para el saneamiento ambiental.

El tratamiento de residuos puede ser de residuos sólidos o semisólidos, residuos líquidos, aguas residuales y residuos industriales y agrícolas. Para proceder a este tratamiento existen muchos métodos, incluida la utilización de biorreactores y la biofiltración. El tratamiento biológico de las aguas residuales sin depurar es un método más de los muchos que ha tenido éxito. Se ha utilizado en muchas partes para el tratamiento de residuos y constituye un ejemplo de limpieza ambiental que comporta la mejora de la salud pública. El próximo desafío a que se enfrentan los municipios y las ciudades de todo el mundo es qué hacer con el sedimento fangoso que queda, así como con los residuos sólidos (basuras). En algunas comunidades el sedimento se vende para convertirlo en fertilizantes.

Los tratamientos de aguas no sólo abarcan el de las aguas residuales, sino también el de masas naturales de aguas contaminadas. Los tratamientos *in situ* consisten en la utilización de microorganismos y biorreactores localizados. Los tratamientos *ex situ* pueden realizarse en instalaciones de tratamiento de aguas residuales. Se modifican microorganismos para utilizarlos en esos tratamientos y se desarrollan nuevos métodos para incrementar el contacto de los microorganismos con la biomasa. Una técnica que se utiliza es la de la inmovilización de los microorganismos. El tratamiento anaeróbico de las aguas residuales utilizando bacterias metanogénicas que producen metano como subproducto puede ser especialmente útil cuando se necesita obtener fácilmente energía, el gas metano en este caso.

El mercado de material para pruebas ambientales crece a medida que éste se hace más pequeño y fácil de usar y se puede transportar sobre el terreno, como, por ejemplo, los cromatógrafos de iones. De este modo el control ambiental puede realizarse permanentemente por medio de sensores. Por ejemplo, una ciudad de la República Checa ha instalado sensores conectados a un tablero iluminado que da las lecturas continuas de la contaminación del aire.

Otro aspecto de la biotecnología ambiental es la mejora de la calidad del aire y la prevención del aumento del dióxido de carbono y del agotamiento del ozono que tiene lugar como resultado de las descargas de contaminantes en la atmósfera. La empresa de biotecnología ambiental Envirogen está estudiando utilizar organismos para el saneamiento biológico del aire contaminado por hidrocarburos halogenados.

La minería

La extracción de minerales ha provocado una degradación ambiental masiva en muchas partes del mundo. Los ríos del Brasil están contaminados por mercurio como consecuencia de la minería del oro. Al norte de Rusia, dentro del círculo ártico y cerca de la frontera con Finlandia, se destruyeron unos 2.000 km² de bosque a causa de los subproductos sulfurados de la minería del níquel. La manipulación de microorganismos o el uso de microorganismos existentes en la naturaleza para eliminar la ganga reducirá o hará desaparecer probablemente esta clase de contaminación en las minas, y se utilizará para el saneamiento biológico de las regiones mineras ambientalmente afectadas.

La silvicultura y la función de los bosques

Se están destruyendo los bosques del mundo a un ritmo terriblemente rápido, el más rápido de la historia. Los bosques tropicales explotables, cuya extensión se estimaba entre 1.500 y 1.600 millones de hectáreas, se han visto reducidos a la mitad y las zonas de suelos forestales siguen reduciéndose. Canadá es uno de los primeros países en servicios forestales basados en la tecnología biológica, con los que facturó 25.000 millones de dólares en 1992. Aunque la mayoría de estos ingresos se obtienen de la industria de la pasta y el papel, el saneamiento biológico de los efluentes y la adición de bacterias en el proceso de la fabricación de papel para reducir los efluentes tóxicos y mejorar la calidad del producto son importantes objetivos de la investigación. Los investigadores canadienses trabajan también en la producción de árboles mediante el cultivo de tejidos con el fin de contribuir a la repoblación forestal. Investigadores de Europa, Canadá y los Estados Unidos han des-

cubierto que las malas hierbas que invaden el bosque y pueden destruir los sotos naturales o impedir el crecimiento de los árboles jóvenes pueden eliminarse aplicando microherbicidas.

El aumento de CO₂ tiene un efecto importante en los bosques ya que el 90 % del carbono contenido en la vegetación terrestre se encuentra en ellos. El aumento del carbono atmosférico produce un incremento progresivo de los bosques de las zonas templadas y boreales. En consecuencia, para reducir el carbono atmosférico se ha sugerido reducir la utilización de combustibles fósiles y en su lugar recurrir a combustibles generados por la biomasa, que no desprende CO₂ o desprende muy poco, así como a la plantación masiva y dirigida de árboles. Esta última propuesta no es muy factible, pero la primera sí; la producción de energía procedente de la biomasa es un método especialmente interesante para los países en desarrollo. Se están llevando a cabo estudios con el fin de determinar los efectos de un incremento del CO₂, y los investigadores estudian los microorganismos relacionados con los árboles de los bosques para inventar nuevos métodos de alteración de la distribución del carbono. El Instituto de Investigación de la Energía Eléctrica está analizando el uso de plantas halófitas, es decir, resistentes a la sal, para absorber CO₂. Estas plantas, además, pueden actuar como combustible biológico y mitigar la toxicidad de las aguas residuales.

OTRAS ÁREAS

La producción de energía generada por residuos biológicos, aunque en la actualidad se tiene poco en cuenta en los países desarrollados, resultará de gran importancia en el futuro, inicialmente para los países en desarrollo y a continuación para los países que ya no puedan costear su dependencia de los productos del petróleo (Ratledge, 1992).

La producción de metano por medio de digestores de biogás puede realizarse a escala local o industrial. La producción de etanol por fermentación puede servir de gran variedad de azúcares de hexosa, pero las fuentes más

importantes son la caña de azúcar, el maíz, la madera, la mandioca, el sorgo, la aguaturma y los cereales. También pueden utilizarse los desperdicios del suero de leche. El proceso de bioconversión genera por medio de la biocatálisis subproductos como la proteína unicelular y los enzimas.

En la punta de lanza de la investigación biotecnológica —en la actualidad con un volumen demasiado pequeño para que se detecte en el mercado— se encuentran los biosensores, la bioelectrónica, los biomateriales y la bioinformática (la utilización de biomoléculas en equipos electrónicos) y el desarrollo de máquinas moleculares o moléculas submicroscópicas, algunas de las cuales tienen un origen biológico, para llevar a cabo dentro del cuerpo determinadas funciones mecánicas o energéticas. Los biosensores tienen aplicaciones en medicina, especialmente en la diagnosis y la terapéutica; en procesos de control, en los que los biosensores pueden utilizarse para determinar cambios en el pH, la conductividad, la concentración molecular u otros fenómenos medibles; en el saneamiento biológico, en el que los organismos bioluminiscentes pueden funcionar como informadores; y como sensores ambientales. En el uso militar, los biosensores pueden conectarse a bioacopladores por medio de circuitos integrados biológicos destinados a transmitir a un sistema informático un hecho detectado. Asimismo, pueden utilizarse para control ambiental, del terreno o de personal. También se utilizan para detectar agentes de la guerra química, tóxica y biológica.

Los biomateriales pueden ser especialmente importantes para fines militares, ya que se utilizan en la fabricación de ropa protectora contra los agentes de la guerra química, tóxica y biológica, y como material médico, por ejemplo, para huesos artificiales u otros tejidos. También pueden servir directamente como agentes bélicos y provocar el mal funcionamiento de los motores de los vehículos enemigos.

Se prevé que las nanomáquinas producidas a partir de moléculas biológicas se utilicen como biosensores en los procesos de fabricación a nanoescala o incluso como método de administración de fármacos.

La bioinformática aprovechará el material y las reacciones biológicas registrados en circuitos integrados de

ordenador. La bioinformática, que desarrolla sistemas de información biológica, representa un esfuerzo mundial en el que pueden participar todas las naciones, sea cual fuere su nivel de desarrollo.

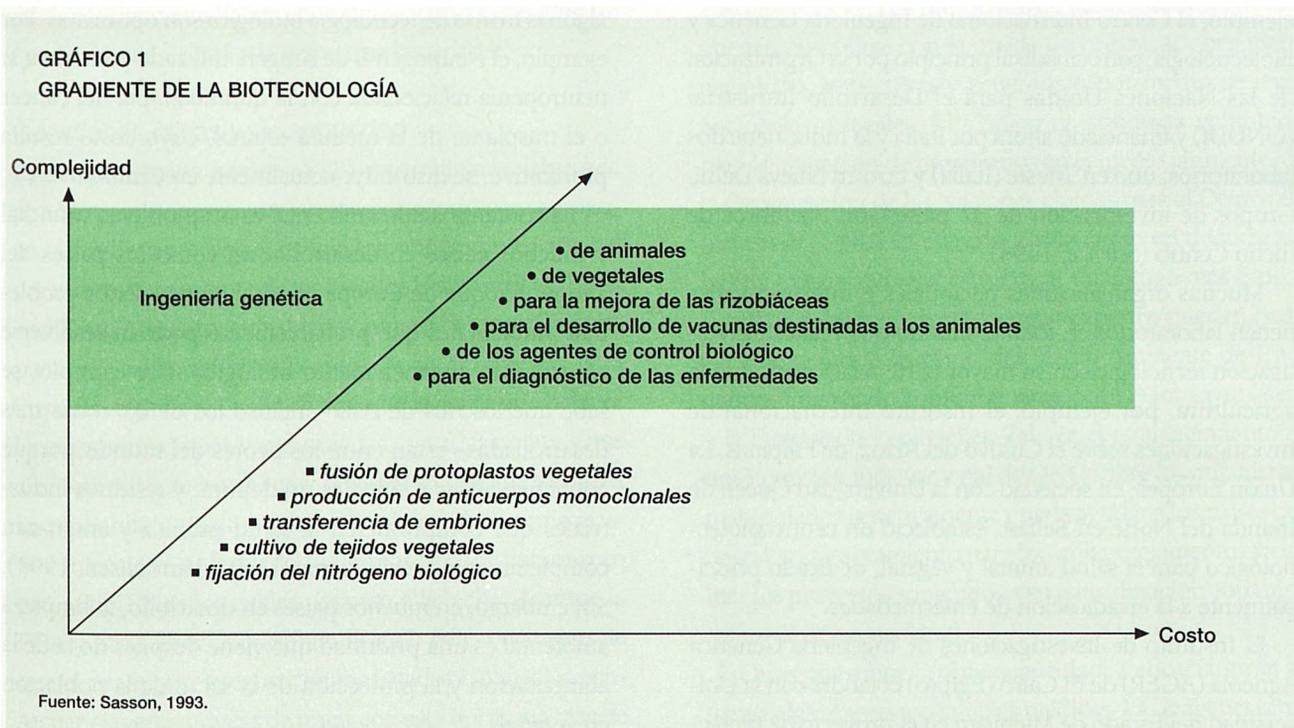
LA BIOTECNOLOGÍA Y LOS PAÍSES EN DESARROLLO

Los diversos campos de la biotecnología pueden considerarse a la luz de un gradiente que recoja su complejidad y costo (Gráfico 1) (Sasson, 1993). No puede existir debate sobre si los países en desarrollo deben recorrer esta curva puesto que los gobiernos y los científicos, incluso de los países más pequeños y pobres, reconocen la importancia del sector para la prosperidad y el bienestar futuros.

Aunque la mayoría de los países en desarrollo todavía no participan directamente en la biotecnología moderna, muchos desean tener una política nacional y un programa de investigación en este campo, y complementarlos con

fuertes vínculos exteriores tanto en el sector público como en el privado tan pronto como sea posible. Sin embargo, en la práctica cada nación tiene que determinar lo que más puede beneficiarla dentro de su marco social, cultural y económico. Así, por ejemplo, la India, un país con un gran presupuesto para la investigación y gran número de técnicos y científicos investigadores, no puede adoptar la misma estrategia que un pequeño país africano de la zona sahelosudanesa (Sasson y Costarini, 1991).

Muchos países en desarrollo son agrícolas y la alimentación de su población depende de su propia agricultura. Por tanto, es muy probable que sus mayores avances biotecnológicos se produzcan para mejorar la agricultura. Es posible que cultivos con mayor valor nutritivo, mayor rendimiento y más resistentes a condiciones extremas y a las enfermedades produzcan mayores efectos en las regiones del mundo productoras de alimentos, especialmente en los países menos adelantados. Un método sencillo para mejorar el crecimiento, como la aplicación de biofertilizantes a las cosechas, es un ejemplo de método que exige



poco desde el punto de vista tecnológico y es muy fácil de aplicar. En especial, el control de las plagas biológicas por medio de la utilización de rociados disuasorios de organismos manipulados genéticamente que contienen genes destinados a la fabricación de plaguicidas naturales derivados de las plantas, las bacterias o los hongos, utiliza la técnica del atomizador con la que los agricultores están habituados. Los animales resistentes a las enfermedades, los que pueden sobrevivir en condiciones rigurosas y los que aprovechan mejor los piensos también pueden tener un efecto importante en el mundo agrícola. La formación en técnicas de cultivo de tejidos y técnicas de micropropagación pueden contribuir a la constitución o expansión de industrias locales.

En el Tercer Mundo la biotecnología comercial tiene pocas posibilidades, pero gracias a la cooperación internacional y regional incluso los países menos adelantados tecnológica y científicamente pueden aprovecharse del progreso de la biotecnología agrícola y participar en la «revolución biotecnológica».

La ayuda de los gobiernos y de las ONG ha permitido establecer centros relacionados con la biotecnología: por ejemplo, el Centro Internacional de Ingeniería Genética y Biotecnología, patrocinado al principio por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) y financiado ahora por Italia y la India, tiene dos laboratorios: uno en Trieste (Italia) y otro en Nueva Delhi. Grupos de investigación de 32 países son miembros de dicho Centro (*Science*, 1994).

Muchas organizaciones nacionales e internacionales tienen laboratorios en todo el mundo que realizan investigación tecnológica en su mayor parte relacionada con la agricultura, por ejemplo, el Instituto Internacional de Investigaciones sobre el Cultivo del Arroz, de Filipinas. La Unión Europea, en sociedad con la Universidad Queen de Irlanda del Norte en Belfast, estableció un centro biotecnológico para la salud animal y vegetal, dedicado principalmente a la erradicación de enfermedades.

El Instituto de Investigaciones de Ingeniería Genética Agrícola (AGER) de El Cairo (Egipto) colabora con la Universidad del Estado de Michigan en el proyecto de biotec-

nología agrícola para una productividad sostenible (ABPS), financiado por la Agencia para el Desarrollo Internacional (AID) de los Estados Unidos. La Red de Centros de Recursos Microbianos (MIRCEN) establecida por la UNESCO, aunque no sea un grupo de investigación propiamente dicho, está organizada para ayudar en proyectos de investigación de microbiología del suelo, biotecnología, gestión de los recursos naturales, producción y protección vegetal y tecnología de la alimentación realizados por organizaciones y universidades del África Subsahariana (Da Silva, 1993).

Se da generalmente por aceptado que los productos de biotecnología médica que pueden reportar más beneficios inmediatos a los países en desarrollo son las vacunas preparadas contra las mayores plagas de los países menos adelantados del mundo —malaria, hepatitis, dengue, VIH y tuberculosis— los diagnósticos y fármacos para tratar las enfermedades endémicas y altamente infecciosas, y los fármacos y tecnologías que tengan mayor aplicación para mejorar la salud de las poblaciones. Aunque los fármacos especializados tal vez no sean de momento mercancías importantes en el mercado de los países en desarrollo, algunas firmas de tecnología biológica son optimistas. Por ejemplo, el Neupogen® de Amgen, utilizado para tratar la neutropenia relacionada con la quimioterapia del cáncer o el trasplante de la médula espinal, cuyo costo resulta prohibitivo, se distribuye actualmente en China.

La contaminación ambiental es un problema mundial y muchos países en desarrollo, así como los países del antiguo bloque de Europa oriental, tienen serios problemas ambientales que probablemente podrían resolverse recurriendo al saneamiento biológico. Por ejemplo, se sabe que los ríos de Asia —incluso los de las zonas más desarrolladas— están entre los peores del mundo porque contienen aguas residuales sin depurar y residuos industriales que comprometen la salud pública y amenazan completamente el ecosistema (Lean y Hinrichsen, 1994). Sin embargo, en muchos países en desarrollo, la limpieza ambiental es una prioridad que viene después de la de la alimentación y la protección de la salud de la población en general.

PROBLEMAS DERIVADOS DE LA ADOPCIÓN DE NUEVAS BIOTECNOLOGÍAS

Obstáculos

Los obstáculos para la adopción universal de proyectos y productos biotecnológicos se deben a problemas culturales, educativos, económicos, gubernamentales e infraestructurales. Por ejemplo, si hay dificultad en distribuir los productos agrícolas en el mercado, ningún cambio de calidad de estos productos puede resolver los problemas infraestructurales. No hay ninguna razón para introducir manzanas manipuladas genéticamente, más fáciles de transportar, en una región donde las manzanas se pudren en los árboles porque no hay medios de transporte al mercado. Otro ejemplo: la introducción de pruebas complicadas para uso clínico a cargo de personas formadas insuficientemente no rendirá los beneficios esperados para la salud pública.

Cuando se introducen nuevos cultivos, es imprescindible poder distribuir el material inicial y explicar a los agricultores la mejor manera de plantarlo y hacerlo crecer. Asimismo, para vacunar a la población contra las enfermedades tiene que haber una infraestructura que asegure que la vacuna llegará a la gente que la necesita.

Cuestiones éticas y de seguridad

La somatotropina bovina (STB) recombinante fabricada por Monsanto, que es un fármaco diseñado para aumentar el rendimiento lácteo, recibió este año la aprobación del organismo competente de los Estados Unidos (FDA, Food and Drug Administration), pero aun así continuó la campaña que había empezado antes de su aprobación para impedir su utilización. Se afirmó que la gente que bebiera leche producida por vacas tratadas con STB podría verse afectada por esta hormona y que con su uso aumentarían las probabilidades de que las vacas desarrollaran una mastitis infecciosa, enfermedad que requiere un tratamiento con antibióticos los cuales pasarían a la leche. Aunque la FDA y otras instituciones han llegado a la conclusión de que el producto es seguro, en los Estados Unidos las consecuencias económicas de tratar con esta hormona más de

800.000 vacas de una cabaña de 9,5 millones han sido el aumento de la producción de leche y la disminución de su precio.

Ha surgido la preocupación de que los cultivos manipulados genéticamente puedan convertirse en malas hierbas o transferir los genes introducidos al producto nativo que, a su vez, podría convertirse en mala hierba. Otra preocupación consiste en que el mismo cultivo manipulado genéticamente pueda convertirse en una plaga. También ha cundido el temor de que plantas manipuladas genéticamente para resistir a los virus provoquen accidentes en que nuevos patógenos víricos afecten a otros cultivos, que plantas manipuladas genéticamente para producir toxinas puedan causar inadvertidamente enfermedades o muerte de animales que se hayan alimentado con ellas y que plantas manipuladas puedan competir con ventaja con las especies silvestres, alterando los hábitats y afectando a otras especies de esos hábitats.

En todo el mundo se han efectuado muchas pruebas sobre el terreno desde 1987. En los Estados Unidos se ha aprobado la realización de pruebas sobre el terreno de más de 860 cultivos transgénicos, y en Europa de como mínimo 250 desde 1991. Los protocolos de regulación y seguridad pueden cumplirse con la ayuda de organizaciones internacionales inspectoras y acuerdos o por medio de leyes nacionales o locales. El Código de conducta voluntario para la liberación de organismos en el medio ambiente, de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), fue concebido como un documento básico a partir del cual estructurar un código más específico. Los gobiernos que no tengan expertos pueden pedir asesoramiento al Instituto del Medio Ambiente de Estocolmo, financiado conjuntamente por el Gobierno sueco y la Fundación Rockefeller. Tal vez el establecimiento de una comisión internacional de ONG sobre los organismos manipulados genéticamente pueda ayudar a los países que necesitan asesoramiento para formular reglamentos y evaluar los proyectos sometidos a su consideración con miras a su aplicación nacional.

Otras cuestiones sobre seguridad y eficacia giran en torno a las nuevas tecnologías médicas. Las exigencias res-

pecto de las pruebas clínicas son más complejas en algunos países que en otros, y su periodo de examen más breve en algunos, permitiendo, por ejemplo, que un fármaco entre en el mercado europeo antes que en el de los Estados Unidos. Esto en sí mismo no constituye un problema, pero puede serlo si el fármaco o la vacuna de que se trata no puede encontrarse en los países en que es más necesario. Por ejemplo, en la epidemia de peste bubónica y neumónica registrada en la India en 1994, uno de los mayores problemas fue la obtención de vacunas. Los laboratorios Cutter de los Estados Unidos habían producido una vacuna eficaz contra esa peste, pero en 1992 Cutter vendió los derechos de la vacuna a otra compañía. El reglamento de la FDA de los Estados Unidos exige en este caso que la vacuna se trate como si fuera un producto nuevo, y se someta a las pruebas correspondientes, razón por la cual no se dispuso de vacunas cuando más urgentemente se necesitaban. La colaboración internacional y una cierta previsión por parte de los gobiernos deberían poder resolver este problema antes de que se convirtiese en urgente.

Las empresas pueden optar por pasar las pruebas de un producto en un país con menos controles. Por ejemplo, los institutos nacionales de salud de los Estados Unidos están demorando las pruebas de una vacuna contra el VIH cuya eficacia muchos ponen en duda, y los fabricantes están estudiando la posibilidad de realizar las pruebas en Tailandia.

La educación y la aceptación pública

Un problema que debe estudiarse a nivel mundial es la aceptación pública de los productos biotecnológicos y los organismos manipulados genéticamente. A menos de que el público comprenda el valor y la necesidad de los avances biotecnológicos, continuarán los problemas de aceptación de los productos de esta clase.

Así, por ejemplo, algunos jefes de cocina de los Estados Unidos se han puesto de acuerdo para boicotear algunos productos manipulados. La Unión de Consumidores, una organización influyente, se opone al uso de la STB, y la Unión Europea la ha prohibido. En cambio, la mayoría de la población de los Estados Unidos desconoce que

algunos quesos se producen utilizando renina recombinante. No ha habido ninguna protesta por el uso de este producto.

La educación pública debe disipar algunos de estos temores y por esta razón la introducción de los productos y procesos biotecnológicos debe ir acompañada de una labor de educación del público. Asimismo, los agricultores deben tener información objetiva que les ayude en sus decisiones con respecto a los organismos manipulados genéticamente y otros productos biotecnológicos.

La escasez de capitales

Los países en desarrollo necesitan nuevas tecnologías, pero la contradicción reside en que las tecnologías son métodos para acumular capital y éste es muy escaso en los países en desarrollo. Por tanto, las nuevas tecnologías biológicas deben funcionar como un medio para crear riqueza nacional (Ratledge, 1992). Para ello, los productos no deben utilizarse únicamente en el país sino que deben venderse también en los mercados regionales o mundiales. Sin embargo, los aranceles proteccionistas pueden provocar intentos de encontrar sucedáneos de los productos importados de los países en desarrollo, por ejemplo, el azúcar de caña (Barker, 1993). La fructosa concentrada de maíz, un edulcorante producido por la fermentación de este cereal, representa el 50 % del mercado de edulcorantes de los Estados Unidos, que anteriormente había estado ligado a la importación de azúcar de caña de los países en desarrollo. Además, en una atmósfera que discrimina las importaciones procedentes de los países en desarrollo pueden encontrarse sucedáneos de otros productos tropicales. Según la Fundación Internacional para el Progreso Rural (RAFI), los Estados Unidos son el mayor importador del mundo de pelitre, un insecticida natural extraído de las flores secas de los crisantemos *Chrysanthemum cinerariaefolium*. Kenya es el mayor productor de pelitre del mundo y también lo producen Tanzania, Ecuador, Rwanda y Tasmania (Australia). Si una compañía de los Estados Unidos produjese pelitre manipulado genéticamente, daría al traste con los 75 millones de dólares que Kenya obtiene anualmente del comercio de

este material –la mayoría del cual procede de la micro-propagación vegetal.

Los países menos adelantados no tienen capital para comprometerse en la investigación y el desarrollo biotecnológicos avanzados. Aunque tengan el personal –alguno de cuyos miembros puede estar bien formado– el costo de los equipos, los reactivos y los procesos de control supera sus recursos económicos. Por tanto, se ha sugerido la conveniencia de que los organismos biológicos que tengan que utilizarse en los países en desarrollo se investiguen en los países más acaudalados, pero que los países menos adelantados puedan recoger los beneficios de las investigaciones sobre esos organismos gracias a su producción o mantenimiento, por ejemplo, fabricándolos en los países menos adelantados. Países como China y la India, y algunos laboratorios de investigación de África y otras partes de Asia, cuentan con personal capacitado y en algunos casos tal vez tengan los equipos necesarios. En estas circunstancias, puede contemplarse la posibilidad de que los grupos de investigación, con la ayuda adicional necesaria para equipos y suministros, puedan realizar la investigación necesaria de biología molecular para producir organismos manipulados genéticamente o productos conexos.

Además de las técnicas tradicionales, como las necesarias para sembrar, la utilización de la mayoría de las nuevas tecnologías exige el dominio de técnicas modernas por parte de la población local y una amplia educación pública para informarla de las nuevas tecnologías. Por tanto, la introducción de los productos de alta tecnología con valor añadido debe incluir programas educativos.

Las transferencias de tecnología

Es preciso examinar las transferencias de tecnología en la esfera de la biotecnología, no sólo las procedentes de los países más adelantados a este respecto sino también las de conocimientos intrínsecos de la población local o algunos individuos. En las industrias químicas y biotecnológicas existe el temor, a veces bien fundado, de que su material patentado no reciba la protección necesaria en los países en desarrollo (Barker, 1992). Algunos creen que los acuerdos internacionales, por ejemplo, el GATT, ayudarán a cal-

mar estos temores. Otros ven en el GATT un sistema que se impone para beneficiar al hemisferio norte a costa de la población de los países del Sur. Al mismo tiempo, las poblaciones indígenas, que comparten su conocimiento de la medicina nativa con los investigadores y las empresas que luego desarrollan estos materiales en forma de fármacos, creen que esta información de su propiedad debería ser recompensada en algunos casos con una patente. Desgraciadamente, una revisión reciente del derecho de patentes estableció que esa información no puede ser protegida con patentes. También se ha planteado la posibilidad de patentar las plantas indígenas singulares y que los organismos existentes en la naturaleza que no sean el resultado de un programa de reproducción o una manipulación científico-genética no sean de momento patentables (The Crucible Group, 1994). Sin embargo, estas plantas pueden quedar protegidas por la Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres (CITES), incluyéndolas dentro de las nuevas categorías propuestas de la UICN (Mace y Stuart, 1993-1994). Aunque ello no otorga derechos económicos, da a los países de origen un cierto grado de control sobre los que se llevan las plantas, adonde se envían y para qué se van a utilizar.

Se ha afirmado que se necesita un cambio radical del concepto de propiedad intelectual, valorando los conocimientos transmitidos culturalmente tanto como los descubrimientos (Vogel, 1994), aunque parece difícil que ello vaya a ocurrir en un futuro próximo. Por eso debemos trabajar dentro de las restricciones legales actuales.

Los países tropicales, ricos en recursos genéticos

Los países tropicales poseen ricas biotas. Las plantas y los organismos marinos de las zonas tropicales son fuentes especialmente valiosas de metabolitos activos médicamente y productos naturales. Algunos compuestos, aunque todavía no se hayan tipificado completamente, son conocidos por los indígenas. ¿Cómo pueden los países más acomodados, que generalmente son de clima templado, acceder a la riqueza de las regiones tropicales? Ésta es una pregunta que se debate en todo el mundo, y se han criticado

mucho algunos acuerdos recientes como el que firmaron Merck and Co. e INbio para la extracción de sustancias vegetales en Costa Rica (Joyce, 1994). ¿Cómo puede indemnizarse adecuadamente a los indígenas que proporcionan sus conocimientos, sus tierras (recursos) y sus sustancias vegetales? ¿Cómo puede indemnizarse a los gobiernos en caso de que se considere adecuado hacerlo? Aunque algunos de estos temas se estudiaron en el Convenio de Río, no se han explicado detallada ni claramente, y ninguno de los acuerdos actuales los estudia de forma completa.

Al ocuparse de la prospección biológica, también llamada acceso biológico, ambas partes tienen que considerar al mismo tiempo lo que es justo y lo que es factible. Recientemente se reunió un grupo de becarios internacionales de la Fundación Pew para redactar unas directrices sobre el acceso biológico. Estas directrices regulan la conducta de los científicos y las interacciones entre éstos y los indígenas, los bancos de genes y las organizaciones intergubernamentales, y proponen que los científicos traten a los indígenas con respeto y como coinvestigadores, y garanticen que las comunidades locales reciban una indemnización equitativa por cualquier producto procedente de plantas, microorganismos o productos derivados de animales registrados y documentados localmente. Estas directrices sólo serán efectivas si se consigue que los acuerdos tengan fuerza obligatoria. Aunque becarios de la Fundación Pew están considerando la posibilidad de pedir a las organizaciones profesionales que hagan cumplir esas condiciones a sus miembros, también prevén la posibilidad de incluir las directrices como anexo de un tratado internacional con fuerza ejecutiva, como el Convenio de Río.

Sin embargo, estas directrices no pueden abarcar todas las situaciones —un becario que participó en su redacción admitió que no incluyen las investigaciones que está realizando— pero pueden ayudar a alcanzar acuerdos justos y equitativos. El Gobierno brasileño está estudiando un proyecto de ley de la propiedad industrial que algunos han propuesto se utilice como modelo para establecer acuerdos de indemnización entre los que tienen acceso a la biodiversidad y los propietarios de sus fuentes.

Otro problema que hay que añadir al tratar del acceso a la biodiversidad es la fuerza ejecutoria del Convenio sobre la Diversidad Biológica (el Convenio de Río). Por ejemplo, los Estados Unidos, una de las fuerzas más importantes del mundo en el terreno de la conservación de las especies, todavía no lo ha firmado oficialmente, pese a que lo hiciera el presidente Clinton sin la aprobación del Congreso, aunque con sendas declaraciones interpretativas sobre el artículo 16 (transferencias de tecnología) y el artículo 19 (protocolos de la bioseguridad). No es probable que un Congreso dominado por los republicanos apruebe la iniciativa.

CONCLUSIÓN

Puesto que la ciencia es internacional, los grupos asesores internacionales, los grupos de supervisión, los consorcios de biodiversidad, las organizaciones de investigación y subvención y las sociedades científicas son agentes que deben solucionar los problemas a nivel mundial y aunar los recursos por encima de las fronteras nacionales. Las organizaciones internacionales, como el Banco Mundial y las Naciones Unidas, al igual que los tratados internacionales, como el Convenio sobre la Biodiversidad, pueden patrocinar el establecimiento de bases de datos y redes que permitan una mayor comunicación y colaboración internacionales. Las tecnologías están a punto para ser explotadas, solamente falta su financiación y la voluntad de aplicarlas.

Rita R. Colwell es presidenta del Instituto de Biotecnología de la Universidad de Maryland y de la American Association for the Advancement of Science (AAAS).

Estudió bacteriología y genética en la Universidad Purdue y en la Universidad de Washington: fue sucesivamente investigadora invitada en el Consejo Nacional de Investigación del Canadá en Ottawa y profesora asociada en la Universidad de Georgetown, antes de ser nombrada profesora de microbiología en la Universidad de Maryland. Se interesa sobre todo por la biotecnología, la diversidad microbiana y la microbiología marina.

En el curso de su carrera científica, Rita R. Colwell ha ocupado varios cargos importantes, a nivel nacional e internacional; fue, entre otras cosas, presidenta de la Sociedad Americana de Microbiología y de la Unión Internacional de Sociedades de Microbiología, miembro del Consejo ejecutivo del Consejo Internacional de Uniones Científicas (CIUC) y presidenta del International Congress of Systematic and Evolutionary Biology. Ha publicado numerosos trabajos, entre ellos 16 libros, una película científica premiada y más de 800 comunicados, artículos e informes. Sus trabajos científicos le han valido muchas distinciones honoríficas.

Catedrático y doctor en ciencias de la Universidad de París, **Albert Sasson** llevó adelante investigaciones sobre las algas de agua dulce, la microflora de las tierras áridas y los microorganismos diazotófos libres y simbióticos en la Facultad de Ciencias de Rabat.

Albert Sasson se incorporó a la UNESCO en 1974 como miembro de la División de Ciencias Ecológicas, donde participó en las actividades del Programa sobre el Hombre y la Biosfera (MAB). A partir de 1979 desempeñó responsabilidades en el área de la planificación de los programas de la Organización: ocupa actualmente el cargo de subdirector general para los Estudios, la Programación y la Evaluación.

Además de sus publicaciones sobre la microbiología, la algología y la agrobiología, Albert Sasson ha publicado numerosas obras sobre el medio ambiente, la ciencia y el desarrollo, y las biotecnologías.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco efusivamente al Dr. Myrna Watanabe su colaboración excelente y crítica en la preparación de este artículo.

Este texto se basa en una publicación previa por R. R. Colwell y A. Hug, en M. E. Wilson, R. Levino y A. Spielman (dir. publ.) *Disease in Evolution: Global changes and Emergences of Infections Diseases*, Annals of the New York Academy of Sciences, 740, págs. 40-54.

BIBLIOGRAFÍA

- Atlas, R. M. *Bioaugmentation to enhance microbial remediation*. En *Biotreatment of Industrial and Hazardous Waste*. Directores de la publicación: Levin, M. A. y Gealt, M. A. Nueva York: McGraw Hill, Inc. (1993), págs. 19-37.
- Barker, R. *Scientific, social, and economic implications of biotechnology for developing countries*. En *Biotechnology: Enhancing Research on Tropical Crops in Africa*. Thottappilly, G., Monti, L. M., Mohan Raj, D. R. y Moore, A. W., directores de la publicación. Ibadan (Nigeria): CTA/IITA coedición 1992, págs. 331-336.
- Cohen, Jon (1994). *Bumps on the vaccine road*. *Science* 265: 1371-1373.
- Congreso de los Estados Unidos de América. Oficina de Evaluación de la Tecnología. *Commercial biotechnology: an international analysis* (1984). Enero, 612 págs. Se puede solicitar a: U.S. Government Printing Office. Washington, DC. OTA-BA-218.
- Congreso de los Estados Unidos de América. Oficina de Evaluación de la Tecnología. *Biotechnology in a global economy* (1991). Octubre, 292 págs. Se puede solicitar a: U.S. Government Printing Office. Washington, D.C.; S/N 052-003-01258-8.
- Congreso de los Estados Unidos de América. Oficina de Evaluación de la Tecnología, *Biotechnology in a Global Economy*. Washington, DC. (1991).
- Da Silva, E. J. (1993). *African Network of Microbiological Resources Centres - (MIRCENS). Biofertilizer Production and Use*. París: UNESCO, PNUD.
- Gibson, D. T. y Saylor, G. S. (1992). *Scientific Foundations of Bioremediation: current status and future needs*. Washington, DC: American Academy of Microbiology.
- Going, Tony y Peter Winter. *Canadian Biotech'94. Capitalizing on Potential*. Thornhill. Ontario (Canadá): Ernst & Young (1994).

- Hamdan, I. Y. y Senez, J. C. *The economic viability of Single Cell Protein (SCP) production in the twenty first century*. En *Biotechnology: Economic and Social Aspects: Issues for Developing Countries*. Directores de la publicación: Da Silva, E. J., Ratledge, C. y Sasson, A. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press (1992), págs. 142-164.
- Joyce, Christopher. *Earthly Goods. Medicine Hunting in the Rainforest*. Little, Brown and Co., Boston, MA (1994).
- Kay, Lily E. *The Molecular Vision of Life. Caltech. The Rockefeller Foundation and the Rise of the New Biology*. Nueva York: Oxford University Press (1993).
- KPMG Biotech Industry Briefing. *Health Care and Life Sciences Practice* (1993).
- Lean, Geoffrey y Don Hinrichsen. *WWF Atlas of the Environment*. 2.ª edición. Oxford: Helicon, y Nueva York: Harper Perennial (1994).
- Lucas, Pieter, Alfred Müller, Bill Pike, Pierre Anhoury, Pol Fizez, Franco Guazzoni, Emilio López, Bernard MacCabe, Danis O'Hogan, Anders Wiger, G. Steven Burrill y Kenneth B. Lee, Jr. (1994) *European Biotech 94: A New Industry Emerges*. Ernst & Young European Executive Office, Bruselas (Bélgica).
- Mace, Georgina y Simon Stuart (1993-94). *Draft IUCN red list categories, versión 2.2. Species 21-22: 13-24*.
- Moses, V. y Ronald, E. Cape, directores de la publicación. *Biotechnology: The Science and the Business*. Nueva York: Harwood Academic Publisher (1991).
- Mulongoy, K., Gianinazzi, S., Roger, P. A. y Dommergue, Y. (1992). *Biofertilizers: agronomic and environmental impacts and economics*. En *Biotechnology: Economic and Social Aspects. Issues for Developing Countries*. Directores de la publicación: Da Silva, E. J., Ratledge, C. y Sasson, A. Cambridge Univ. Press, Cambridge, Reino Unido, págs. 55-69.
- National Research Council. *In Situ Bioremediation: When Does It Work?* Washington, DC: National Academy Press. 1993. Gibson. David T. y Gary S. Saylor. 1992. *Scientific Foundations of Bioremediation: Current Status and Future Needs*. Washington, DC: American Academy of Microbiology.
- Ratledge, Colin. *Biotechnology*. En *Biotechnology: Economic and Social Aspects. Issues for Developing Countries*. Directores de la publicación: Da Silva, E. J., Ratledge, C. y Sasson, A. Cambridge Univ. Press, Cambridge, Reino Unido, págs. 1-92 (1992).
- Sasson, A. y Costarini, V. (directores de la publicación) (1991). *Biotechnologies in perspective*. París, publicación de la UNESCO.
- Sasson, A. (1993). *Biotechnologies in developing countries; present and future*. Vol. 1. Regional and National Survey. París, publicación de la UNESCO.
- Science (1994). *World biology center*. 266: 222.
- The Crucible Group. *People, Plants, and Patents: The Impact of Intellectual Property on Trade, Plant Biodiversity, and Rural Society*. Ottawa: International Development Research Centre, 1994.
- Vogel, Joseph Henry. *Genes For Sale: Privatization as a Conservation Policy*. Nueva York: Oxford University Press (1994).

Las tecnologías de la información

GEORGES FERNÉ

Las «ciencias de lo artificial», disciplinas que se interesan en las propiedades y la capacidad de las sustancias o máquinas creadas por el hombre, han dado origen a la mayoría de las nuevas tecnologías (desde la mecánica hasta las biotecnologías, pasando por los nuevos materiales y la energía) que revolucionan las sociedades y las economías contemporáneas. Nacidas de las ciencias naturales, cuyos métodos y resultados utilizan con frecuencia para aplicarlos a los complejos sistemas técnicos de que dependemos para bien o para mal, estas disciplinas no están anquilosadas y mantienen entre sí relaciones fluctuantes, a veces muy ricas.

En la actualidad se abre un espacio radicalmente nuevo de innovación en el punto de encuentro de la mecánica, la óptica, la informática y la telemática, e incluso, en los años venideros, de la biotecnología.

EL CAMPO DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

Las tecnologías de la información (TI) se pueden definir como la convergencia de la electrónica, la informática y las telecomunicaciones. Esta convergencia tiene una doble cara: por una parte, la supresión de las distancias, consecuencia de las redes planetarias de computadoras anteriormente aisladas; por otra, la informatización de los sistemas de telecomunicaciones que les confiere nuevas funcionalidades para la transferencia del sonido y la imagen.

Este encuentro facilita nuevos instrumentos para el acopio, el almacenamiento, el tratamiento, la organización, la transmisión y la presentación de la información. El afinamiento de tales instrumentos, cada vez más eficaces, transforma profundamente el sector de las tecnologías de la información, engendrando nuevas sinergias industriales que se manifiestan en la diversificación creciente de los productos y en la multiplicación de nuevas formas de competencia y alianzas entre productores de equipos informáticos y telemáticos, por una parte, y prestatarios de servicios, por otra. El sector de las tecnologías de la información es una rama industrial en

plena expansión, que es muy dinámica, constituye un campo de actividad en busca de mercados cada vez más amplios y se caracteriza por oleadas de inversión, ingresos y nuevos empleos.

Sin embargo, tal vez no sea esto lo más importante. Al ocupar el lugar de los procedimientos mecánicos y electrónicos de antaño (o más sencillamente, al eliminar trabajos rutinarios que otrora incumbían al ser humano), estas tecnologías irrigan todos los demás sectores, abriéndoles perspectivas seductoras de mayor productividad y diversificación de los productos para responder más rápida y eficazmente a la evolución de la demanda y a los cambios en el equilibrio internacional de las ventajas comparadas. Gracias a las nuevas redes nacionales, regionales o mundiales (por ejemplo Internet) de comunicación, las tecnologías de la información abren el camino a una mayor transportabilidad de servicios técnicos, profesionales o financieros y contribuyen de ese modo a «mundializar» la economía (Pereira, 1994).

Así pues, fomentan la internacionalización de la producción y los mercados, incrementan la movilidad y flexibilidad de los servicios y flujos monetarios y financieros, y facilitan con frecuencia las condiciones necesarias para la creación de instrumentos financieros innovadores. Por esta razón se utilizan los sistemas de información para mejorar la productividad, la calidad y la eficacia de las finanzas, la banca y la gestión de los negocios y de la administración pública. En la industria manufacturera, y hasta cierto punto en la agricultura, se han automatizado muchos procedimientos, por ejemplo, la concepción con ayuda de la computadora, la gestión de los recursos y existencias o bien modos de producción que requieren máquinas o robots autorregulados que tienen la ventaja de ser muy adaptables.

Estos avances de las tecnologías de la información se deben directamente a los recientes adelantos de la microelectrónica, ya que los resultados científicos y tecnológicos registrados en el campo de los transistores, semiconductores y circuitos integrados («chips») han sido tan grandes que influyen prácticamente en todas las ramas de la economía. Los avances de esta tecnología se han

El éxito de Internet

Internet surgió de una iniciativa del Departamento de Defensa de los Estados Unidos: poner una red avanzada de comunicación a disposición de los investigadores que colaboraban con el Pentágono. Ampliada a las actividades civiles por la Fundación Nacional de Ciencia (NSF), esa red conquistó rápidamente al conjunto de la comunidad científica estadounidense antes de suscitar el entusiasmo de los investigadores extranjeros que se conectaron a la red. A finales del último decenio tuvo lugar un verdadero «despegue» de *Internet*, ya que se conectaron usuarios de las administraciones y empresas de todo el mundo. El éxito se explicaba, entre otras cosas, por el aumento paralelo del número de servicios ofrecidos por la red, desde un modo fácil y directo de comunicación entre individuos, hasta el acceso a servicios de documentación de renombre, pasando por las posibilidades ofrecidas en apoyo de los intercambios comerciales.

La red está, sobre todo, particularmente bien adaptada para desempeñar dos funciones esenciales:

- Dar un alcance planetario a la noción de equipo de investigación. Los investigadores pueden trabajar de modo concertado, intercambiar ideas y resultados, e incluso ocuparse conjuntamente de una experiencia o de una simulación sin encontrarse en el mismo lugar: pueden intercambiarse así textos, imágenes fijas o en movimiento, y sonidos. Se trata de un avance sumamente importante para los países en desarrollo, cuyos científicos pueden ahora superar las limitaciones que imponía la lejanía y colaborar directamente y en cualquier momento con sus colegas de otros países. Hay, por desgracia, otra cara de la moneda: el peligro de que los equipos que trabajan en campos que tienen una gran importancia estratégica o comercial caigan en la tentación de formar un círculo cerrado de «clubes electrónicos», impidiendo así que los intrusos tengan acceso a sus resultados.
- Proporcionar vías de acceso a las fuentes de información más diversas. *Internet* está ya conectada con la *World Wide Web* (la gran Malla mundial), que constituye uno de sus conjuntos. La *Web* agrupa miles de servidores

creados por empresas, servicios, universidades, asociaciones con intereses mancomunados o meros particulares. Dichos servidores proponen, gratuitamente o mediante pago, el acceso a informaciones escritas, ilustradas, filmadas y a menudo sonoras. Un programa informático sumamente eficaz, y con el que puede uno familiarizarse rápidamente, permite navegar fácilmente en esta *Web*.

Todo esto es sin duda alguna una anticipación de lo que serán mañana las «autopistas de la información» con las que se quiere establecer una comunicación entre los hogares y los sitios informatizados. Será posible así efectuar una difusión rápida, personalizada y con posibilidades de interacción de informaciones y programas de todo tipo, en particular audiovisuales. El gran problema que queda por resolver es el de la instalación de una red (por cable o por satélite), que supone inversiones enormes y por cuyo control están ya luchando numerosos grupos. En este caso, los países en desarrollo están también directamente interesados por estas nuevas tecnologías en las que están en juego tantos intereses económicos, sociales y culturales.

Todavía no se han tomado las grandes decisiones determinantes para el porvenir, y nadie puede decir cómo va a evolucionar *Internet*, que cuenta hoy con más de 20 millones de usuarios en el mundo y cuya clientela sigue aumentando con rapidez. La utilización de la red propiamente dicha es gratuita: basta con conectarse a un «servidor» (conexión que es de pago si no se tiene uno propio); es como si para acceder a una red de carreteras fuera necesario trazar su propio camino, o bien utilizar el del vecino, pagando un peaje.

Esa base ha permitido, desde luego, un desarrollo fulminante de *Internet*, pero la red no fue concebida para un tráfico tan voluminoso y nutrido. Además, no es fácil de utilizar, no garantiza la confidencialidad de los mensajes ni se presta fácilmente a todas las formas de intercambio, y su capacidad de adaptación es, al parecer, limitada.

Su principal ventaja radica en que es la única red mundial de fácil acceso. Sin embargo, existe ya la competencia para un gran número de aplicaciones comerciales y pronto habrá otras más...

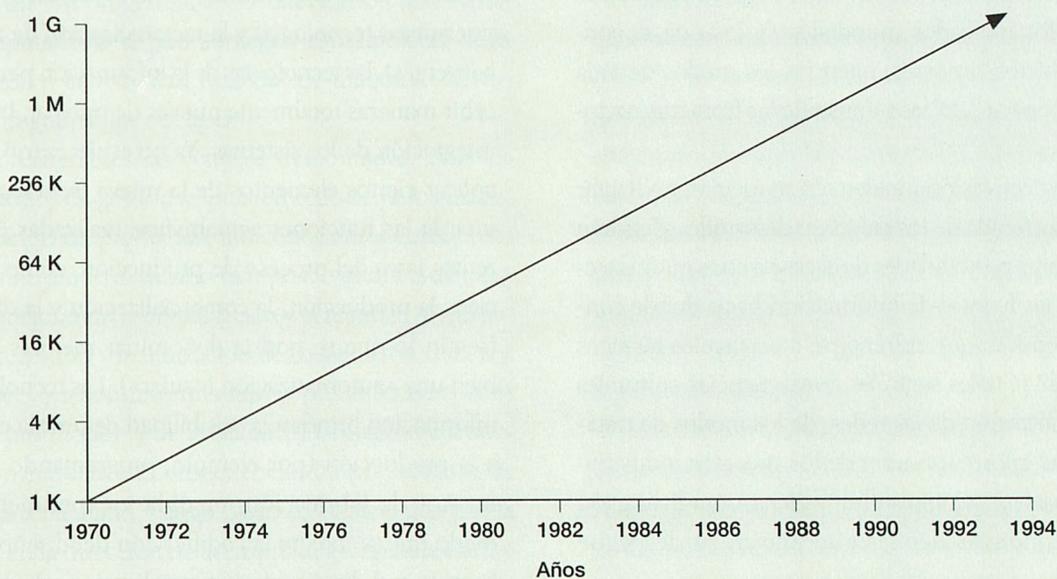
traducido en una caída espectacular de los precios de coste y en un rendimiento técnico mejorado sustancialmente tanto en la industria electrónica como en las demás ramas. El aumento continuo del número de circuitos inscritos en cada «chip» han permitido disminuir muy rápidamente desde 1970 los costes de ensamblaje de los equipos electrónicos (un «chip» puede reemplazar a muchos componentes distintos), aumentar la velocidad de conmutación (y, por ende, fabricar computadoras más rápidas y más potentes) y fabricar equipos más fiables, más pequeños y más ligeros (con un número reducido de interconexiones, menos materias primas y menor consumo de energía). El Gráfico 1 ilustra esos avances vertiginosos en cuanto a evolución de la capacidad de memoria.

NUEVOS MODOS DE INTEGRACIÓN

Esta evolución influye en todos los sectores de la economía. Las tecnologías de la información llevan a redefinir las posibilidades de explotación de las economías de escala y de campo y presentan la ventaja de una mayor flexibilidad en todas las etapas de la actividad económica, desde la producción hasta la utilización de mano de obra y equipos, pasando por la gestión de existencias y la aplicación de las estrategias comerciales.

En la medida en que amplían al infinito la gama de productos realizables con el apoyo de modos de producción flexible, esas tecnologías ofrecen la forma de escapar a las limitaciones de la producción en serie y determinar mejor segmentos particulares de mercado. Así, una firma agro-

GRÁFICO 1
EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD DE MEMORIA DEL «CHIP»



Kiloocteto (K) : unidad de 1.024 octetos («byte») para la medida de capacidad de memoria en unidades de información almacenadas en forma binaria.
 Megaocteto (M) : 10^3 kilo octetos
 Giga octeto (G) : 10^6 kilo octetos

alimentaria puede proponer en un país dado cerca de veinte variantes de un mismo producto, definidas para ajustarse lo más posible a las particularidades del mercado local. En el ámbito de los servicios se están desarrollando aplicaciones que establecerán entre quien presta el servicio y el cliente un «coloquio singular» que permitirá definir los productos según la demanda. Cabe esperar, por ejemplo, que dentro de poco tiempo un cliente pueda explorar electrónicamente los «menús» ofrecidos por quien presta un servicio (bancos, seguros, etc.) para componer el «cóctel» que más se adapte a sus necesidades, mezclando las ofertas de unos y otros.

La rapidez del cambio en las tecnologías de la información va a acelerar, sin duda alguna, la progresión ya perceptible hacia una mayor interdependencia en las relaciones internacionales, que afecta a los intercambios económicos y financieros, pero se extiende además a los aspectos políticos y culturales. Las economías nacionales se vuelven más sensibles a las consecuencias de decisiones políticas adoptadas a nivel internacional y las medidas económicas de un país tienen mayores repercusiones en las políticas económicas de los demás. Se siguen ampliando y abriendo los mercados mundiales en los que se consumen productos similares, mientras los modos de vida se uniforman haciendo caso omiso de las fronteras nacionales.

Estas perspectivas no pueden, en particular, no llamar la atención sostenida de los países en desarrollo. ¿Tendrán ellos verdaderas posibilidades de acceso a estas nuevas tecnologías y a las fuentes de información hacia donde conducen? ¿O tendrán que enfrentarse a obstáculos técnicos o financieros? ¿Cuáles serán las consecuencias culturales de la mundialización de las redes, de los modos de tratamiento de las informaciones y de los procesos industriales y comerciales? ¿Cómo influirá dicha mundialización sobre las economías débiles que inician su despegue económico?

Sin duda, una redistribución general de las cartas económicas se hará a escala planetaria. Los avances de las telecomunicaciones y la informatización han dado recientemente a las grandes empresas la capacidad de utilizar sus

sistemas de gestión y tratamiento de datos para difundir información técnica y económica a numerosos centros informáticos situados en diferentes lugares. Más aún, con las nuevas redes, fábricas que se encuentran dispersas se pueden someter al control y la gestión directos de una administración central. Esta evolución afecta a la distribución internacional del trabajo, la producción y los intercambios, modifica los modos de propiedad y control industriales, socava la posición competitiva de algunos países y da lugar a nuevas asociaciones comerciales. Se accede así a nuevas formas de gestión «en tiempo real», en las que la capacidad de reacción a acontecimientos imprevistos puede ser un factor de competitividad, o bien engendrar reacciones en cadena muy peligrosas, como ha sucedido en varias ocasiones en los mercados financieros que se encuentran integrados de un extremo al otro del planeta.

Precisamente la integración de las funciones confiere a las tecnologías de la información su verdadero alcance económico y social. Mucho más que una simple evolución tecnológica paulatina y continua que permitiría mejorar la aplicación de procedimientos tradicionales de fabricación (es decir, la simple sustitución de los sistemas existentes por nuevas tecnologías y la racionalización de actividades corrientes), las tecnologías de la información permiten concebir maneras totalmente nuevas de trabajar, buscando la integración de los sistemas. Ya no es necesario limitarse a aplicar ciertos elementos de la nueva tecnología en cada una de las funciones actualmente realizadas en las diferentes fases del proceso de producción, como la concepción, la producción, la comercialización y la distribución (según lo que se podría denominar mejoras aisladas, o bien una «automatización insular»). Las tecnologías de la información brindan la posibilidad de unir la concepción a la producción (por ejemplo, programando los instrumentos de fabricación, medida y experimentación de modo que se integre la codificación del diseño); la planificación y el diseño a la comercialización y la distribución (por ejemplo, gracias a distintos instrumentos informáticos y a bancos de datos que descubren y agrupan los cambios que se producen en la evolución del mercado); la producción a la distribución (por ejemplo, instaurando el

tratamiento automático mediante la producción de pedidos hechos por los clientes y a los proveedores); etc. La integración completa de todos estos subsistemas de producción en una sinergia de conjunto representa un instrumento estratégico para la industria, por cuanto ésta se encuentra dotada de procesos automáticos para unir equipos hasta ahora aislados y dedicados a operaciones distintas de fabricación (Pereira, 1994). Sin embargo, la adopción de estos nuevos avances tecnológicos supone asimismo profundas transformaciones en la organización y el comportamiento de las empresas y las administraciones.

HACIA NUEVOS SISTEMAS TECNOLÓGICOS

En efecto, en un futuro próximo se esperan otros avances técnicos en cuanto a la automatización de las telecomunicaciones y la vinculación entre ordenadores para la transmisión de datos, avances que multiplicarán las posibilidades de integración de los sistemas. Con este tipo de «automatización programable» o «fabricación con ayuda de la computadora» se podrá integrar el tratamiento de la información a la actividad material de máquinas-herramientas programables o robots.

Son considerables las ventajas descontadas. Con los nuevos modos de gestión se pueden reducir ya los plazos de fabricación de productos, tanto existentes como nuevos, disminuyendo al mismo tiempo el volumen de existencias y mejorando la organización y el reparto. Al mismo tiempo, la gestión y la utilización de equipos son cada vez más eficaces y garantizan una mayor precisión en el control de la producción y de la calidad. Los gastos generales se pueden reducir en consecuencia. La preparación de estrategias a mediano y largo plazo se ve facilitada por la precisión en la dirección de la empresa, gracias a la cual se pueden efectuar previsiones más fiables.

Hasta ahora sólo se ha recogido una fracción de los frutos de las innovaciones unidas a las tecnologías de la información, frutos que únicamente se aprovecharán en su totalidad durante los próximos decenios. En consecuencia, se

precisarán adaptaciones considerables, procesos de aprendizaje y cambios estructurales en las instituciones socio-económicas y los sistemas actuales de organización para pasar a niveles de integración de sistemas que posibiliten la explotación de todas las ventajas virtuales de las tecnologías de la información. Así, en el plano mundial quedan por superar numerosos obstáculos técnicos (por ejemplo, la adopción de normas comunes para las principales interfaces), con objeto de establecer redes mundiales totalmente fiables y accesibles con facilidad. Por otra parte, también la rigidez interna de las diferentes instituciones es un factor de entorpecimiento. Una aplicación integrada de las tecnologías de la información en las empresas entraña su profunda transformación, mientras que la mayoría de las organizaciones existentes se caracteriza por los principios de una tajante división del trabajo, especialización y diferenciación funcionales, descalificación de muchas tareas, procedimientos y controles rígidos de fabricación, multiplicación de niveles jerárquicos de dirección, basados en procedimientos burocráticos de decisión, y un enfoque «mecanicista» del rendimiento.

En estas condiciones, el recurso a las tecnologías de la información empieza con frecuencia por mejoras aisladas o locales de la tecnología practicada. Los sistemas fundados en las tecnologías de la información brindan, sin embargo, a las organizaciones posibilidades de integración funcional, de mano de obra polivalente, de estructuras expeditas y flexibles de decisión, que den mayor lugar a la delegación de responsabilidades y a la autonomía de las unidades operativas; en otros términos, un enfoque más flexible y «orgánico» que haría posible una adaptación rápida a los cambios del medio.

Mientras las redes mundiales y su anclaje organizativo en las economías y las sociedades nacionales no se hayan adaptado a la «sociedad de la información» y sigan encerradas en esquemas convencionales heredados de otra era tecnológica, múltiples obstáculos limitarán las posibilidades de sacar todo el partido posible de los nuevos avances. Si bien ciertos efectos negativos serán inevitables (por ejemplo, deslocalización o dislocación del mercado del empleo, e incluso disminución de la competitividad para

ciertos países o regiones), las repercusiones positivas (por ejemplo, creación de nuevas industrias o servicios generadores de empleo) sólo irán apareciendo con dificultad en un terreno mal preparado.

MUNDIALIZACIÓN Y SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN

Así como el establecimiento de nuevas infraestructuras de telecomunicaciones, desde el siglo pasado, ha sido objeto de actividades coherentes y coordinadas, desde la Segunda Guerra Mundial se ha percibido inadecuadamente lo que las tecnologías de la información ponían en juego a nivel sistémico. Fabricantes de materiales y productores de soportes lógicos se han enfrentado en una competencia despiadada que se ha traducido en la multiplicación de sistemas distintos y la constitución de un parque heterogéneo de equipos, con frecuencia subutilizados e incompatibles. Esta situación es cada día menos soportable: obstaculiza la circulación de datos, la constitución de redes y el desarrollo de la sinergia esperada, frenando al mismo tiempo la difusión de las aplicaciones de las tecnologías de la información en numerosos sectores.

Sobre todo desde finales de los años sesenta, y con mayor vigor durante el último decenio, todos los países industriales han intentado elaborar una respuesta específica según sus tradiciones y sus estructuras. En consecuencia, la elaboración y difusión de las tecnologías de la información se han convertido en parte integrante de las políticas sociales, culturales, económicas e industriales. Cada uno ha procurado determinar los medios más apropiados de adoptar las nuevas tecnologías y adaptarse a ellas.

ESPERANZAS Y TEMORES

El ámbito de las tecnologías de la información en general y el interés que manifiestan los gobiernos, en particular, han cambiado mucho desde hace unos 15 años debido a las profundas modificaciones que se han producido en las actitudes sociales y políticas.

A finales de los años setenta dichas tecnologías suscitaban a la vez grandes esperanzas y vivas inquietudes. En la búsqueda de aumento de productividad y fuentes de crecimiento, aparecían como el camino real que llevaba a un nuevo campo de posibilidades tecnológicas e innovaciones, que constituía la economía postindustrial y la «sociedad de la información». Así, se las solía considerar condición indispensable de la competitividad futura de un país. Esa función estratégica se concretó en numerosos países en el inicio de programas especiales, nacionales e internacionales, destinados a sostener la industria de las tecnologías de la información, impulsar la I+D y promover la educación y la formación. Al programa japonés de «computadoras de la quinta generación» correspondieron durante los años ochenta el programa Alvey en el Reino Unido, el programa de la rama electrónica en Francia, diversos programas directa o indirectamente patrocinados por el Ministerio de Defensa de los Estados Unidos y programas neerlandeses, suecos y noruegos, además de grandes proyectos europeos comunitarios como ESPRIT o EUREKA.

La función clave asignada a las tecnologías de la información despertaba necesariamente ciertas inquietudes. Se temía que la difusión de esas tecnologías en la economía provocara la supresión de puestos y, por consiguiente, el incremento del desempleo. Causaban inquietud su creciente vulnerabilidad a injerencias accidentales o delictivas y las graves amenazas que representan para la vida privada. Se temía incluso una excesiva concentración del poder económico en manos de unas pocas empresas industriales transnacionales, lo cual habría puesto en peligro el derecho soberano de los Estados.

Estos temores se habían atenuado durante el último decenio, en todo caso bajo esa forma, gracias a la reactivación de la economía. Aunque la automatización de numerosos trabajos de rutina hubiera suprimido puestos de oficina, ya no se consideraba que las tecnologías de la información como tales podrían generar un desempleo masivo en el mundo, sino que aparecían como fuente de empleo calificado, sobre todo en el sector servicios. Por lo demás, este sector se ha ampliado y se sigue ampliando

considerablemente gracias a esas tecnologías. Se trata de la aparición de una «industria de la información», que saca partido de las nuevas infraestructuras de telecomunicaciones para ofrecer nuevos servicios a los particulares y las empresas (el MINITEL francés constituye un ejemplo de primera generación de la variedad de prestaciones que se pueden poner a disposición de todos).

Sin embargo, las preocupaciones relacionadas con el empleo vuelven a aparecer bajo otra forma durante los años 90. Ya no se considera que la tecnología destruye empleos «naturalmente», sino que es el sistema social el que determina sus formas de utilización y puede estructurar sus aplicaciones para «economizar puestos». Desde hace muchos decenios, en los grandes países industriales se han anclado ciertas tendencias acentuadas en estructuras y comportamientos moldeados por largos periodos de penuria de personal calificado o semicalificado, durante los cuales era necesario que la tecnología ocupara puestos que no se podían proveer. Si se quiere superar el desempleo y la dislocación del mundo del trabajo, se trata de buscar en adelante un dominio distinto del progreso técnico, con objeto de prevenir repercusiones sociales profundamente desestabilizadoras.

Así pues, si se está de acuerdo en considerar que las tecnologías de la información están llamadas a estimular la creación de empleo *globalmente y a mediano o largo plazo*, es preciso reconocer, sin embargo, que esas tecnologías pueden también surtir efectos indeseables a este respecto, facilitando la *supresión* o la *deslocalización* de actividades. Por ejemplo, la capacidad de tratamiento de datos, como apoyo de las nuevas infraestructuras de telecomunicación, facilitan el teletrabajo, que está llamado a intensificarse tanto a nivel nacional como mundial. Así una empresa europea o estadounidense puede recurrir a personal de concepción o administración que habite en cualquier lugar del mundo. La competencia se va a intensificar necesariamente en este campo y es preciso redoblar los esfuerzos para hacer coherentes los sistemas nacionales de tecnología de la información, aumentar su rendimiento y elevar su nivel de integración, con objeto de evitar que las empresas sucumban a la tentación de exportar puestos de trabajo.

Al mismo tiempo, como ya se ha señalado, el recurso a las nuevas tecnologías impone a las organizaciones una profunda reestructuración que puede entrañar la supresión de toda una rama de actividades comerciales o de gestión tradicionales.

BÚSQUEDA DE POLÍTICAS

La competencia internacional y los imperativos de la competitividad imponen una difusión completa y rápida de esas tecnologías. Para evitar la mala utilización de las tecnologías de la información que teme la opinión pública, numerosos gobiernos han adoptado una legislación y una reglamentación que abarcan tanto la protección de la vida privada como la represión de la delincuencia informática o la seguridad de los datos. Así, en Francia con la creación de la Comisión Nacional Informática y Libertad (CNIL) se instituyó una especie de contrapoder que protege al ciudadano de los abusos en la utilización de los ficheros informáticos. Las medidas de seguridad suelen instaurar una protección explícita que tranquiliza, por ejemplo, a los usuarios de servicios de transferencias de fondos o de información confidencial.

En estas condiciones, las tecnologías de la información se han venido difundiendo durante el último decenio cada vez con mayor rapidez en numerosos sectores como la administración, la banca, el transporte aéreo y la gran industria. Habida cuenta de las experiencias recientes, las expectativas actuales acusan cierta decepción. Algunos usuarios están desilusionados porque no siempre se logró un aumento de productividad. De hecho, se habían subestimado las dificultades de adaptación de las estructuras de organización (mayor flexibilidad, descentralización de funciones, necesidad de establecer modos de gestión más creativos, etc.) que imponía a la administración y las empresas la adopción de los nuevos sistemas de tecnologías de la información.

Por otra parte, en muchos casos no resultaron satisfactorios los grandes programas nacionales e internacionales que se habían iniciado para sostener el desarrollo de estas tecnologías. Debido a la falta de una base industrial ade-

cuada, los resultados científicos de las actividades de I+D no se pudieron traducir directamente en aplicaciones comerciales. Asimismo, con frecuencia, resultaron decepcionantes las campañas que consistían en designar entre las empresas de un país a «ganadores» o «campeones nacionales» que gozarían de cierto apoyo. Así, la adquisi-

ción de una alta competencia tecnológica no dio necesariamente a los países interesados una superioridad decisiva frente a la competencia internacional, ya que, a menudo, factores como los métodos de ventas y el avance en cuanto a implantación de normas en mercados clave resultaron más determinantes.

Los objetivos de la investigación internacional en tecnologías de la información

A primera vista, muchos programas nacionales de investigación en tecnologías de la información parecen tener objetivos muy similares. Esto no es sorprendente. En efecto, sus lineamientos están definidos por las principales tendencias tecnológicas o el «paisaje tecnológico» que intenta abarcar hasta cierto punto cada uno de los programas, con objeto de aprovechar las oportunidades tecnológicas que se vislumbran en el horizonte y son reconocidas en todo el mundo. Hay dos orientaciones estratégicas principales.

En primer lugar, aplicar las nuevas tecnologías lo más eficazmente posible en todos los sectores, manteniendo al mismo tiempo todas las opciones abiertas a las evoluciones futuras (probablemente inesperadas).

En segundo lugar, crear y utilizar infraestructuras nacionales, regionales y mundiales de la información, plenamente capaces de atender al tráfico cada vez mayor de «multimedia» que requiere una capacidad de alta velocidad para transferir un enorme volumen de información (texto, sonido, imágenes en movimiento, gráficos) para uso privado, necesidades administrativas y comercio, a través de una red interconectada. Esa red podría servirse parcialmente de las conexiones existentes, pero exigirá además una nueva instalación de cable en hogares y oficinas.

Si se quiere que sean eficaces, esos sistemas deberán basarse en importantes adelantos de los cuatro campos principales de la tecnología de la información, a saber, microelectrónica, procesamiento de datos, telecomunicaciones y fabricación con ayuda de la computadora. De aquí se desprenden las similitudes entre los programas nacionales y la necesidad de una coordinación internacional que establezca un núcleo común de la infraestructura técnica

mínima necesaria. Sin embargo, además de esta tecnología básica que todos habrán de adquirir, podrán explotarse diferentes grados de autonomía y especialización con objeto de intentar conquistar mercados específicos de distinta magnitud.

MICROELECTRÓNICA

La microelectrónica es un buen ejemplo de esta realidad. En la actualidad todos los programas tienen tres rasgos principales comunes: chips cada vez más pequeños y, por ende, más densos y menos costosos, pero cuyo costo de fabricación es cada vez mayor, ya que constantemente aumenta la inversión necesaria. Los objetivos, por ejemplo mayor integración de los circuitos, mejoras tecnológicas en el diseño y la fabricación de semiconductores y en las aplicaciones de la silicón y el arseniuro de galio, siguen siendo los mismos, aunque podrían verse afectados por los recursos asignados. Por consiguiente, las opciones dependen totalmente de los factores tecnoeconómicos.

En este contexto, los distintos países tienen cierto margen de acción en cuanto al tipo de producto que desean fabricar. El Japón ha decidido producir y comercializar componentes normalizados, fabricados en serie para la industria de bienes de consumo. Al tiempo que procuran rivalizar con ese liderazgo japonés, los Estados Unidos dominan el campo de los componentes complejos con aplicaciones especiales (armas, espacio, etc.). La amplia gama de objetivos asignados a los programas europeos, desde microelectrónica hasta procesamiento avanzado de datos y conocimientos (inteligencia artificial), muestra que Europa ha iniciado un esfuerzo importante para ser competitiva en todos los campos.

Por lo tanto, los gobiernos redujeron sus actividades de apoyo directo destinadas a promover la oferta de tecnologías de la información. Su acción consistió entonces en impulsar las actividades industriales de base para adquirir o fortalecer una capacidad tecnológica «genérica» en distintos campos de esas tecnologías, como la

microelectrónica o la ingeniería de programas informáticos, que parecían desempeñar un papel estratégico para mantener la competencia y la competitividad nacionales. De manera más general se produjo un reequilibrio en favor de medidas indirectas como la desreglamentación y el fortalecimiento de los mecanismos de mercado

PROCESAMIENTO DE DATOS

Todos los días cambian los métodos y normas de organización, así como los programas de procesamiento de datos. Se procura incrementar el rendimiento general de las computadoras aprovechando las mejoras de los componentes de la unidad y las nuevas orientaciones de la arquitectura de las computadoras, por ejemplo el procesamiento paralelo. Se buscan además las aplicaciones que ofrece la inteligencia artificial a pesar de los reveses de los últimos años. Como consecuencia, las posibles aplicaciones del procesamiento de datos podrían tomar una dirección totalmente nueva con los sistemas expertos, los robots inteligentes y el reconocimiento de la palabra. Quien en el futuro desee posibilidades de ganar, deberá dominar todas estas aplicaciones aunque sólo sea para poder aprovechar la difusión de nuevos productos tan pronto como salgan al mercado.

Aparte de estas perspectivas espectaculares, se está ampliando un trabajo menos atractivo, pero tal vez más importante, con miras a mejorar los sistemas de explotación y los instrumentos de comunicación, por ejemplo el intercambio electrónico de datos que constituirá la base para iniciar nuevos servicios mundiales e instalar los instrumentos necesarios para realizar el comercio electrónico en las nuevas autopistas electrónicas.

TELECOMUNICACIONES

Lo más importante en este campo ha sido la digitalización de los sistemas de transmisión (que de hecho es la medida de la creciente convergencia entre las tecnologías de computadoras y las de la comunicación), así como la conmutación del tiempo y el desarrollo de la optoelectrónica como nuevo pro-

ceso de transmisión. Desde hace largo tiempo, el principal objetivo en todo el mundo industrial ha sido establecer redes digitales integradas de servicios (ISND) que, según se esperaba, atenderían en el futuro a las necesidades de todos los usuarios (firmas, servicios, administraciones y consumidores) llevando sonido, imágenes y texto a alta velocidad y muy bajo costo. En la actualidad, muchas personas consideran que estas velocidades aún no serán suficientes y que se requieren redes mucho más eficaces de «banda ancha». De ahí el gran impulso dado por el gobierno de los Estados Unidos de Clinton-Gore para establecer las Infraestructuras Mundiales de la Información (GII), conocidas también como «autopistas electrónicas».

FABRICACIÓN CON AYUDA DE LA COMPUTADORA

La automatización y la computación industrial están abnando el terreno para un doble cambio: un aumento considerable de la capacidad de producción y una mayor variedad de productos. Esto se basa en máquinas de control numérico, robots industriales, sistemas de diseño y fabricación con ayuda de la computadora y dispositivos visuales y táctiles de reconocimiento. En una palabra, son esenciales para el futuro de la industria y el ajuste estructural de la economía.

Gran parte de la investigación en este ámbito tiene por objeto mejorar la difusión de nuevas aplicaciones, creando al mismo tiempo una baza competitiva específica. Al liderazgo tecnológico de los Estados Unidos y el Japón se contraponen la estrategia europea de alianzas y agrupaciones, con miras a evitar la dependencia tecnológica. En la mayoría de los países europeos (Alemania, Francia y el Reino Unido, en particular) complementan la investigación programas destinados a promover la difusión de las nuevas tecnologías.

a nivel nacional e internacional. Con todo, varios aspectos de la situación actual restringen la eficacia de las políticas basadas en la oferta de tecnologías de la información.

Por ejemplo, desde finales de los años ochenta la industria de materiales de tecnología de la información

se vio enfrentada a un mercado que estaba estancado o crecía muy poco, como lo muestran las grandes reestructuraciones en empresas gigantes como la IBM. Esta situación obedece a factores coyunturales y a las condiciones económicas generales, pero se puede deber además a problemas más profundos de ajuste estructural.

Importancia de la normalización de las tecnologías de la información

La globalización de la economía se traduce en la interdependencia cada vez mayor de firmas y países. La infraestructura de información y comunicación ha desempeñado y seguirá desempeñando un papel determinante para vigorizar este proceso y ha proporcionado nuevas posibilidades de redes de todo orden. Estas perspectivas ejercen una influencia cada vez mayor en las exigencias y prioridades de la normalización de los campos en cuestión. Tal vez la influencia creciente de las consideraciones de índole internacional será en el futuro el motor de las políticas nacionales que se apliquen y de los ajustes que se efectúen en los campos en cuestión. Cabe esperar en particular que los grandes usuarios ejerzan una influencia cada vez mayor en favor de la normalización de las tecnologías de la información.

El ejemplo del código de barras, que ha tenido un éxito sin precedentes en el ámbito de la distribución, ilustra la importancia del papel que pueden desempeñar los usuarios: el sistema surgió a raíz de gestiones de grandes firmas de distribución de los Estados Unidos y llevó a la elaboración de normas en colaboración con los fabricantes de materiales, luego a la fabricación de equipos cada vez más complejos y, por último, a la aplicación de medidas de protección de los consumidores contra eventuales abusos. Todas esas etapas son necesarias para una difusión satisfactoria de la nueva tecnología, pero la fase de normalización es especialmente importante, ya que no basta con codificar sino que es necesario que el código se pueda leer e incluir en la cadena de producción, distribución y consumo.

En efecto, las inquietudes relativas a la eficacia del sistema de normalización y sus repercusiones en la difusión de las nuevas tecnologías han llevado a muchos participantes y observadores a interrogarse sobre el papel que incumbe a los usuarios de estas tecnologías. ¿Es posible hacer la normali-

zación de las tecnologías de la información más eficaz, evitar las dificultades tecnológicas y facilitar la difusión de las nuevas tecnologías, intensificando la participación de los usuarios en la elaboración de las normas?

Esta idea es seductora, pero ¿es realista?

La importancia de la normalización en materia de tecnologías de la información —es decir, lograr la compatibilidad de los sistemas informáticos— es enorme. Un tronco común de soluciones coherentes, bien articuladas entre sí, que permitan comunicarse fácilmente de una computadora a otra, es esencial para el futuro de la infraestructura industrial y comercial del planeta. Se trata de liberar a los usuarios de las tecnologías de la información de toda dependencia exclusiva respecto de un solo fabricante y permitirles emplear indistintamente sistemas heterogéneos, recurriendo a proveedores de materiales y programas diferentes, por ejemplo, IBM, DEC, Apple, etc., pero compatibles. Sin este presupuesto el sistema mundial de acceso a los datos y de su tratamiento y transferencia seguirá estando fragmentado y no permitirá el desarrollo de nuevas industrias ni nuevos servicios.

Al mismo tiempo, la normalización moviliza múltiples agentes y recursos considerables. Por ejemplo, el costo total del desarrollo del sistema de Normas de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI) se evalúa en más de 4.000 millones de dólares en los últimos quince años. En 1984, el presupuesto inicial de una de las organizaciones interesadas (X-Open, consorcio de grandes empresas) se elevaba a unos 90 millones de dólares.

El proceso de globalización económica en curso hace que todos los usuarios, grandes o pequeños, perciban más cabalmente la importancia de la cuestión: incluso las pequeñas empresas se ven afectadas por los mercados mundiales. Si los mecanismos actuales de normalización producen fragmenta-

Según el parecer general, la difusión de las tecnologías de la información sigue siendo muy desigual en el tejido industrial (esfuerzos insuficientes o mal adaptados de algunas grandes firmas, integración deficiente a las redes para pequeñas y medianas empresas) y mediocre en numerosos sectores (transportes, medio ambiente

urbano). En algunos casos, la difusión de estas tecnologías tropieza con problemas estructurales y políticos (como lo muestran las dificultades para establecer sistemas de gestión integrada de los distintos modos de transporte por carretera, por ferrocarril, por avión y por barco). En otros, sobre todo en las empresas pequeñas

ciones múltiples y difíciles de superar, como en el caso de las normas relativas al Intercambio de Datos Informatizados (EDI), según la lógica de la globalización es menester obviarlos.

Ahora bien, como los productores de tecnologías de la información desean mantener sus partes de mercado bajo la protección de las tecnologías de que disponen, no estarán dispuestos a instaurar espontáneamente un alto nivel de coherencia y compatibilidad que tendría como consecuencia una competencia cada vez mayor. Únicamente podría obligarlos la presión de los usuarios.

En 1991 se produjo una primera agitación: un grupo de grandes firmas usuarias de tecnologías de la información (compuestas en un principio de American Airlines, Boeing, DuPont de Nemours, General Motors, Kodak, McDonnell Douglas y Merck) preparó un «pliego» de peticiones, presentado como una especie de marco general para los futuros trabajos de normalización de dichas tecnologías. También en los Estados Unidos, Europa y Japón se han constituido numerosas agrupaciones de usuarios. Más recientemente, la OCDE creó un grupo de expertos industriales en normalización de tecnologías de la información, con objeto de preparar un informe sobre los mecanismos, procedimientos y productos de la normalización en este campo, en particular desde el punto de vista del usuario. Aunque las grandes firmas multinacionales son mucho más activas en esta fase, el movimiento se irá ampliando necesariamente, sobre todo gracias a las relaciones entre esas firmas y sus abastecedores, relaciones que se establecen en una dimensión planetaria.

Las recientes conclusiones de la Ronda Uruguay en diciembre de 1993 muestran la importancia cada vez mayor atribuida a las normas en el plano internacional como elemento esencial para la instalación de la infraestructura de la nueva economía global, importancia que los acuerdos en

cuestión tienden a acrecentar, ya que abarcan 115 países, mientras que los anteriores acuerdos relativos a la normalización suscritos en el marco del GATT sólo comprendían unos cuarenta signatarios. Por otra parte, los nuevos acuerdos:

- alientan a los países a participar activamente en los trabajos de normalización de las organizaciones internacionales;
- piden a los países que se refieran a las normas internacionales disponibles;
- instituyen un nuevo mecanismo de resolución de conflictos, para luchar contra la utilización de las normas como barrera al intercambio.

Esta evolución es muy significativa, máxime porque la industria procura apoyarse cada vez más en normas internacionales evitando en la mayor medida posible las etapas intermediarias de la normalización nacional, que con frecuencia es fuente de divergencias. La globalización desempeña en este caso una función esencial, ya que obliga a las multinacionales, incluso las que han estado tradicionalmente muy descentralizadas y han sido muy diversificadas, a fortalecer la coordinación de algunas actividades y a aliarse a otras. Por consiguiente, la exigencia de normas internacionales no puede dejar de intensificarse.

Prácticamente no cabe duda de que las nuevas tecnologías, hoy tecnologías de la información, mañana materiales y biotecnologías, requieren nuevos enfoques para confrontar directamente todos estos problemas que sólo podrán resolverse de modo duradero mediante la concertación internacional. Ésta deberá hacer participar necesariamente a las principales regiones, los productores y prestatarios de servicios, así como a los usuarios, cuya participación contribuye a definir los horizontes planetarios de la normalización de hoy, frenar sus costos y controlar mejor el despilfarro del progreso técnico.

y medianas, tal vez no se contó con el mínimo de competencia técnica necesaria para asimilar las nuevas tecnologías. Sin embargo, también es posible que se requieran algunos avances para adaptar mejor la propia tecnología (ya se trate de una microcomputadora o del acceso a una red) a una utilización fácil, agradable y natural, lo que se denomina «la interfaz hombre-máquina». Por lo demás, la rapidez del cambio técnico en el ámbito de las tecnologías de la información hace dudar a los inversores, que temen no poder amortizar los nuevos equipos antes de verse obligados a renovarlos.

PERSPECTIVAS FUTURAS

Algunos hechos recientes en el ámbito de las tecnologías de la información muestran que ese sector ha entrado en un periodo de cambios y ajustes. Desde finales del último decenio, el mercado de materiales de tecnologías de la información sólo se ha incrementado muy lentamente, mientras que se seguía ampliando el mercado de programas informáticos. Al mismo tiempo se insistía en la elaboración de normas «abiertas» para facilitar la integración en red de materiales informáticos hasta entonces totalmente incompatibles (a fin de acondicionar sus «interfaces») y facilitar las mismas aplicaciones en materiales diferentes (lo que se denomina «portabilidad») (OCDE, 1991). En los distintos países se estableció un marco legislativo o reglamentario destinado a regir la utilización de las tecnologías de la información y a proteger la vida privada y la seguridad de los usuarios. Al mismo tiempo y de manera cada vez más acentuada, se manifestó el deseo de los usuarios de participar en la definición de los futuros productos de dichas tecnologías (sea para obtener aplicaciones que les convienen más, sea para elaborar normas más fáciles de utilizar).

Algunos avances están a punto de abrir nuevos mercados a las aplicaciones multimedia y a las arquitecturas informáticas innovadoras. Es probable que los futuros puestos de trabajo sean muy distintos de los que conocemos hoy: ofrecerán enormes posibilidades de tratamiento

de la imagen y el sonido, de diálogo y de trabajo conjunto entre puestos muy alejados y de transferencia de enormes conjuntos de información a velocidades hoy inimaginables.

Por lo demás, la evolución hacia la numerización total del tratamiento de la información abrirá un sinnúmero de nuevas perspectivas para el establecimiento de redes internacionales. La inteligencia artificial, los sistemas expertos e incluso los programas informáticos en su conjunto están lejos de haber alcanzado su pleno desarrollo. Se esperan aplicaciones que transformen profundamente, por ejemplo, las profesiones liberales (jurídicas o médicas en particular) o los modos de gestión. El desarrollo de la «especialización flexible» en la industria apenas está en mantillas y abre inmensas posibilidades de modular las formas de fabricación y la naturaleza de los productos por medio de programas informáticos y sin la transformación de materiales.

Se debe tomar en consideración, además, el rápido crecimiento de las redes de tecnologías de la información, fundado en la mensajería electrónica y en «instrumentos» como EDI para los intercambios comerciales y administrativos. En efecto, gracias a esos nuevos instrumentos se podrán efectuar electrónicamente tareas administrativas y jurídicas que van desde las formalidades de aduanas a la recaudación de impuestos, pasando por la elaboración de pedidos o facturas. Estas redes se están extendiendo con rapidez tanto vertical (haciendo intervenir a los constructores y proveedores de servicios, los usuarios y los servicios administrativos) como horizontalmente (a escala mundial). Cabe prever que de esto se desprendan nuevas sinergias y desafíos tecnológicos inesperados.

Se espera aumentar la gama de funciones de las tecnologías de la información y su atracción respecto del usuario gracias a nuevos conceptos como el de «lógica flexible» (que facilita a una máquina una «inteligencia» que le permite elegir un programa apropiado sin intervención del usuario) o de programación paralela para las redes de gran velocidad, que podrán tratar y transmitir un enorme volumen de información. Apenas se está comenzando a explorar su inmenso potencial industrial. Estos avances llevarían a generalizar la incorporación de la «inteligencia integrada»

en todos los productos, desde los electrodomésticos hasta los sistemas de concepción y fabricación con ayuda de la computadora y tendrían repercusiones directas en campos tan distintos como el transporte, la protección del medio ambiente, la economía de energía, los servicios públicos, la sanidad y la educación, la gestión del espacio urbano y rural, la agricultura, etc.

Desde hace poco tiempo, el sector de las tecnologías de la información se orienta hacia la electrónica para el gran público, en la que las firmas procuran implantarse y que de todos modos se va a modificar radicalmente con la introducción de la televisión de alta definición completamente numérica (TVHD). Para muchos la TVHD representa una nueva tecnología genérica que tendrá inmensas repercusiones en numerosos campos militares y civiles. Agregándose al de las «autopistas electrónicas», este ejemplo muestra que el sector de las tecnologías de la información está lejos de haber terminado de experimentar las transformaciones y mutaciones profundas que lo llevarán un día a la madurez. Sin embargo, su influencia se extiende a todos los sectores de la sociedad hasta el punto de que cada una de esas mutaciones tecnológicas tendrá repercusiones importantes en todo el tejido socioeconómico.

Todo esto indica no una industria que haya logrado su pleno desarrollo, sino por el contrario una tecnología que adquiere más coherencia y eficacia. Un gran salto hacia adelante, en apoyo de aplicaciones manifiestamente múltiples y proteiformes puede darse, pero tanto más imprevisibles cuanto que la dinámica del progreso tecnológico emanaría sobre todo de la progresión constante de las expectativas y las exigencias. Los arbitrajes del mercado no bastarán sin duda para garantizar la coherencia de las aplicaciones de las tecnologías de la información en el tejido económico y social ni para limitar los trastornos que puedan resultar en el plano nacional e internacional. La gama de posibilidades tecnológicas se enriquecerá constantemente según se diversifiquen las necesidades. Será menester, pues, desarrollar nuevas formas de relación entre productores y usuarios para escoger las soluciones de material o programas informáticos que mejor respondan a las necesidades. Se requieren políticas a estos dos niveles para for-

mular las nuevas reglas de un juego cuyos resultados siguen siendo imprecisos. A escala mundial, estas nuevas relaciones se traducirán en nuevas formas de relación entre los países.

Dominar el progreso técnico para fortalecer sus virtualidades benéficas y limitar sus perjuicios eventuales; limitar las fuentes de desequilibrios (y por consiguiente de conflictos) internacionales, garantizando a los nuevos miembros, y en particular a los países en desarrollo, posibilidades reales de acceso a las redes que se están constituyendo; fortalecer la solidaridad entre economías nacionales, preservando al mismo tiempo una heterogeneidad que es fuente de innovación, son otros tantos desafíos políticos importantes que plantean las tecnologías de la información a finales de este milenio y ponen de manifiesto la complejidad de la tarea.

Georges Ferné es especialista en tecnologías de la información en la Dirección de Ciencia, Tecnología e Industria de la OCDE.

Después de cursar estudios de derecho y ciencias políticas, a finales de los años 1960 se incorporó a la OCDE, donde trabajó sobre numerosos proyectos relativos a la ciencia y la tecnología y a las ciencias sociales, especialmente las políticas de desarrollo de las tecnologías de la información y las políticas de investigación de los vínculos entre la universidad y la industria. Fue encargado en particular de la preparación y de la publicación de varios estudios sobre las políticas científicas y tecnológicas nacionales. Sus más recientes trabajos trataron de los aspectos económicos de las tecnologías de la información y de las comunicaciones, incluso estudios sobre el impacto de dichas tecnologías sobre el empleo y, más generalmente, sobre las implicaciones de la emergencia de la sociedad de la información en el mundo.

Las opiniones sostenidas por el autor son personales y no representan necesariamente las de su institución.

BIBLIOGRAFÍA

- Ayres, R. (1987). *Future Trends in Factory Automation*, IIASA, Laxenburg, Austria.
- Dosi, G. (1982). «Technological Paradigms and Technological Trajectories: a Suggested Interpretation of the Determinants and Directions of Technical Change», *Research Policy*, Vol. 11, n.º 4.
- Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R., Silverberg, G., y Soete, L. L. G. (eds.) (1988). *Technical Change and Economic Theory* (Londres: Frances Pinter).
- Freeman, C. (1987). *Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan* (Londres: Frances Pinter).
- Jacobsson, S. (1986). «Technical Change and Industrial Policy; the Case of Computer Numerically Controlled Lathes in Argentina, Korea and Taiwan», *World Development*, Vol. 13, n.º 3, marzo.
- James, J. (1986). *Microelectronics and the Third World; An Integrated Survey of Literature* (Maastricht: The United Nations University, New Technologies Institute Feasibility Study, Rijksuniversiteit Limburg). (Maastricht: Universidad de las Naciones Unidas, Instituto de Nuevas Tecnologías, estudio de viabilidad, Universidad de Limburgo).
- Kaplinsky, R. (ed.) (1989). «Restructuring Industrial Strategies», *Bulletin of the Institute of Development Studies* (Brighton, Reino Unido: IDS, Universidad de Sussex).
- Katz, R. L. (1986). «Explaining Information Sector Growth in Developing Countries», *Telecommunications Policy*, septiembre.
- Miles, I., Rush, H., Turner, K., y Bessant, J. (1988). *Information Horizons: The Long-Term Social Implications of New Information Technologies* (Hants, Reino Unido: Edward Elgar Publishing Ltd.).
- OCDE (1989). *Grands programmes de R-D pour les technologies de l'information*, OCDE, París.
- (1989). *Technologies de l'information et les nouveaux domaines de croissance*, OCDE, París.
- (1991). *La dimension économique des normes en matière de technologies de l'information*, OCDE, París.
- (1994). *Technologies de l'information et perspectives économiques*, OCDE, París.
- Pereira, P. R. (1994). «Opportunités et menaces technologiques», en J. J. Salomon, F. Sagasti, y C. Sachs-Jeantet, *La quête incertaine*, París, Economica, 1994.
- Perez, C. (1986). «Microelectronics, Long Waves and World Structural Change: New Perspectives of Developing Countries», *World Development*, Vol. 13, n.º 3, marzo.
- Piore, M. J., y Sabel, C. F. (1984). *The Second Industrial Divide: Possibilities for Prosperity* (Nueva York: Basic Books).
- Rada, J. (1985). *Information Technology and the Third World*, en: T. Forester (ed.) *The Information Technology Revolution* (Oxford: Basil Blackwell Ltd.).
- Rosenberg, N. (1976). *Perspectives on Technology* (Cambridge: University Press).
- (1982). *Inside the Black Box: Technology and Economics* (Cambridge: University Press).
- Salomon, J.-J., Sagasti, F., y Sachs-Jeantet, C., *La quête incertaine* (1994). Economica, París (publicado en inglés con el título: *The Uncertain Quest*, UNU Press, Tokio, 1994).

Ciencia e ingeniería de los materiales

LAKIS C. KAOUNIDES

En los últimos quince años hemos sido testigos de la irrupción, prácticamente simultánea, de tres importantes tecnologías genéricas, con consecuencias trascendentales para la división mundial del trabajo, la inversión extranjera directa, la localización de los centros de producción y de investigación y desarrollo, las alianzas tecnológicas estratégicas entre empresas, las estructuras comerciales intra e interregionales y el empleo. Pero, mientras que las tecnologías de la información y las biotecnologías son objeto de innumerables debates, lo que denominaremos la revolución de los materiales está menos difundida y suscita un interés considerablemente menor. No obstante, los materiales nuevos y avanzados determinarán, sin lugar a dudas, el nivel de competitividad de las empresas y el sector público industrial en el mercado mundial y, a medida que nos acercamos al siglo XXI, aportarán soluciones claves para los problemas que se plantean en ámbitos como el medio ambiente, la energía, el transporte y la medicina. Se reconoce ya ampliamente que los progresos tecnológicos en una vasta gama de industrias de primer orden, incluidos los multimedios, la informática y las telecomunicaciones, la industria aeroespacial, la exploración de los fondos marinos, el transporte de superficie, el embalaje y la construcción, entre muchos otros, dependen casi exclusivamente de la ciencia y tecnología (C&T) de los materiales, que ofrece soluciones muy eficaces y ecológicamente racionales.

Los especialistas en C&T de los materiales poseen ya suficientes conocimientos fundamentales para poder definir cuantitativamente y controlar la relación entre la microestructura atómica y molecular de un material, su proceso de fabricación o de elaboración y las propiedades resultantes y el rendimiento en uso. Ello nos permite perfeccionar, poco a poco, los materiales convencionales y crear materiales nuevos, especialmente diseñados para satisfacer los requisitos de rendimiento cada vez más exigentes que imponen las aplicaciones finales. Es también posible partir de la enunciación del conjunto de propiedades deseado y trabajar en sentido inverso para diseñar y elaborar el material adecuado. Al mismo tiempo, pueden elaborarse materiales totalmente nuevos que constituirán la base de progresos tecnológicos fundamentales y/o de aplicaciones

e industrias antes inconcebibles. Todo esto conduce inexorablemente a la necesidad de comprender la materia a niveles atómico y molecular y de desarrollar la capacidad de construir la materia, átomo por átomo y molécula por molécula. Y esto será ya posible en el segundo decenio del próximo siglo, e inclusive antes.

En la actualidad, la investigación en física y biología se concentra en el estudio de los componentes elementales de la materia. Por un lado, las propiedades mensurables de los materiales se rastrean en la microestructura y composición química de los componentes que los han originado. Por otro, el diseño y un proceso de fabricación inteligente determinan las propiedades que el técnico desea asignar al material o componente resultante. Esta comprensión cada vez mayor de la relación entre la síntesis atómica y molecular de un material, su proceso de elaboración y fabricación, la microestructura y composición finales y las propiedades y el comportamiento observados en uso ha abierto un ilimitado campo de investigación y rige actualmente la aplicación de materiales funcionales y estructurales, así como los progresos realizados en ámbitos como la medicina y la farmacología, la agricultura, la minería, la ingeniería genética, la energía y el medio ambiente.

En este capítulo examinaremos primero los orígenes y las características de la revolución de los materiales y haremos una reseña de la evolución de determinadas clases de materiales. A continuación, nos detendremos a analizar algunas de las principales repercusiones de éstos para los distintos países y regiones, en la coyuntura científica y tecnológica actual de intensa competencia. La idea esencial que deseamos transmitir es que las estrategias tecnológicas e industriales deben estar estrechamente vinculadas a una estrategia de los materiales y viceversa.

EL ORIGEN DE LA REVOLUCIÓN DE LOS MATERIALES

Los conocimientos revelados por la física cuántica a comienzos de este siglo incrementaron considerablemente nuestra comprensión de las interconexiones entre la estructura y las propiedades de la materia. En los decenios sub-

siguientes, el análisis, la síntesis y la elaboración de los materiales se enriquecieron con la incorporación de conocimientos científicos más fundamentales, lo que permitió utilizar materiales avanzados en la producción de energía, la electrónica y los programas espaciales, entre muchos otros ámbitos. Sin embargo, el aumento de los conocimientos teóricos sólo suministró una orientación cualitativa para la modelación y la predicción.

De hecho, los descubrimientos que ofrece la física cuántica no han podido ser completamente explotados hasta el momento actual. Desde comienzos del decenio de 1980, una multiplicidad de nuevos y potentes instrumentos, como el microscopio de barrido electrónico con efecto túnel, permitieron a los científicos estudiar a fondo las estructuras electrónica, atómica y molecular de los materiales. Además, el aumento exponencial de las capacidades informáticas, gracias a la utilización de supercomputadores de alta velocidad, permitió a los científicos desarrollar modelos matemáticos del comportamiento físico, químico y mecánico, extremadamente complejo, de los materiales monolíticos y compuestos. Sirviéndose de instrumentos perfeccionados asistidos por computador, modelos matemáticos y técnicas experimentales, los expertos en materiales comienzan ahora a proponer una caracterización cuantitativa de las microestructuras —es decir, la descripción de la estructura de un material tal como evoluciona durante su elaboración— y su relación con las propiedades resultantes. Se trabaja actualmente, si bien la investigación se encuentra en sus etapas iniciales, en la extensión de la caracterización cuantitativa del comportamiento de los materiales al nivel de la interacción entre grandes grupos de átomos y electrones utilizando las leyes de la mecánica cuántica y la estadística e incorporando los resultados obtenidos al diseño de materiales.

CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES MODERNOS (C&IM)

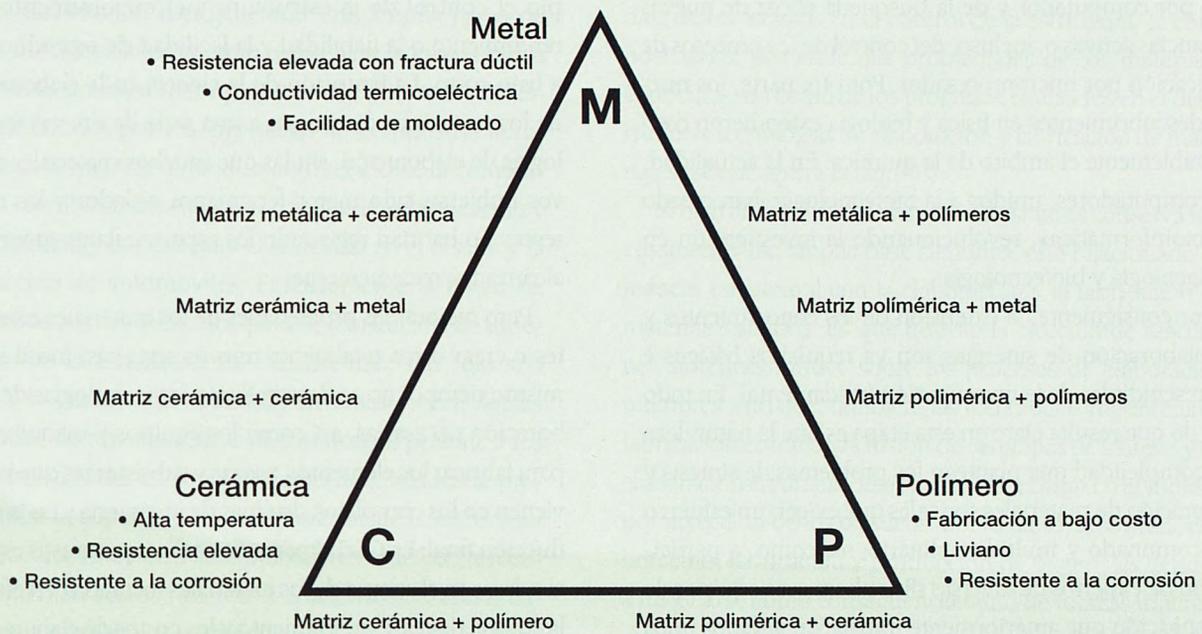
La C&IM enraza sus orígenes científicos en la física de la materia condensada, la química de estado sólido y la química de sintéticos, junto con experiencia en ingeniería y fabricación e investigación y desarrollo (I+D) industrial en

laboratorio, lo que le permite adoptar un enfoque abarcador en relación con los materiales. Un aspecto esencial es la estrecha interacción y la relación entre la estructura y la composición, las propiedades, el rendimiento en uso y el proceso de síntesis y elaboración de un material. En la actualidad es no sólo necesario sino también viable aplicar este enfoque a materiales de todo tipo, lo que a su vez vuelve obsoletas las demás técnicas empíricas y artesanales de desarrollo de materiales. Así pues, los progresos en los materiales existentes y la introducción de otros nuevos derivan de los métodos e instrumentos de la C&IM, con un componente considerable de ciencia pura acompañado de una amplia base de elaboración, fabricación y tecnología. Habida cuenta de la permeabilidad de la C&IM en los materiales de todas clases, en cierto sentido todos se convierten en materiales «nuevos». A fines del decenio de 1980 la ciencia de los materiales y la investigación aplicada desarrollaron capacidades para manipular y estructurar materiales, por ejemplo, a nivel del átomo, inimaginables incluso a comienzos de ese decenio.

Los decenios de 1980 y 1990: la comprensión y el control de la estructura y las propiedades de la materia

En la base de la revolución de los materiales se encuentra la capacidad casi increíble y en permanente desarrollo de los expertos científicos en materiales para intervenir a niveles electrónico, atómico, molecular y microestructural, efectuar caracterizaciones cuantitativas, modelar, predecir y controlar la evolución de la microestructura durante el proceso de elaboración y manipular e incrementar propiedades que permitan desarrollar las aplicaciones industriales y militares deseadas. Dicha capacidad permitió realizar inmensos progresos en las propiedades y las tecnologías de elaboración de los materiales tradicionales existentes, así como dar una gran difusión a materiales de alto rendimiento y con un elevado coeficiente de conocimientos, como las cerámicas avanzadas, los polímeros industriales, los metales avanzados y los sistemas compuestos (Gráfico 1). Si bien durante los decenios de 1960 y 1970 se difundieron importantes materiales nuevos, que

GRÁFICO 1
SISTEMAS DE MATERIALES AVANZADOS



Fuente: Alcoa, documento de trabajo para la Décima Conferencia Bienal de Políticas Nacionales sobre Materiales.

podían considerarse entonces de avanzada, deseo detenerme en el decenio de 1980, ya que marcó una ruptura estructural en la forma de desarrollar y utilizar los materiales a nivel industrial. La revolución de la C&IM y sus posibilidades exponenciales de develar la estructura y el comportamiento de la materia, así como de predecir y controlar sus formas y aplicaciones, provocan actualmente inmensas transformaciones tanto en las empresas e industrias que producen materiales como en las que los utilizan.

La C&IM es multidisciplinaria

El estudio de los múltiples aspectos de la estructura, la composición, la caracterización, la síntesis y las técnicas de elaboración y fabricación de materiales obliga a integrar y a organizar la interacción de muchos campos y disciplinas anteriormente especializados pero que actualmente tienden a agruparse, en una colaboración de sinergias. La cien-

cia de los materiales se ha convertido en un ámbito multidisciplinario que requiere aportes de la física de estado sólido, la química, la metalurgia, la cerámica, los materiales compuestos, las ciencias de las superficies y de interfaces, las matemáticas, la informática, la metrología y la ingeniería. De hecho, pierde validez el principio de establecer una separación rígida entre las diferentes disciplinas, a medida que desaparecen las barreras o límites precisos entre ellas. La tendencia de la ciencia moderna a estudiar las partículas elementales, los átomos y las moléculas se extiende a todos los materiales, independientemente de su origen. Es más, en la actualidad comienza a abarcar campos como la biotecnología y la ingeniería genética de los organismos biológicos. Inclusive, la experiencia reciente apunta hacia una fusión de las ciencias biológicas (biología molecular) con la química y los materiales poliméricos. Los progresos de la investigación facilitaron la denomi-

nada revolución de la microelectrónica. A su vez, los adelantos en este ámbito dieron redoblado ímpetu a la química a través, por ejemplo, del diseño de moléculas asistido por computador y de la búsqueda eficaz de nuevas sustancias activas o, incluso, del control de los procesos de fabricación por microprocesador. Por otra parte, los nuevos descubrimientos en física y biología extendieron considerablemente el ámbito de la química. En la actualidad, los computadores, unidos a la biotecnología, han creado la «bioinformática», revolucionando la investigación en farmacología y biotecnología.

Por consiguiente, la extensión de los conocimientos y la colaboración de sinergias son ya requisitos básicos e imprescindibles de la investigación fundamental. En todo caso, lo que resulta claro en esta etapa es que la naturaleza y la complejidad que plantean los problemas de síntesis y elaboración de materiales son tales que exigen un esfuerzo mancomunado y multidisciplinario, así como la participación de expertos de diversas disciplinas y de equipos de investigación que anteriormente trabajaban aislados unos de otros. Por consiguiente, la dimensión multidisciplinaria del diseño de materiales, el desarrollo de productos y las capacidades de elaboración adquieren importancia crucial para la empresa, la industria, la universidad, el centro de investigación e incluso la economía en su conjunto y, forzosamente, se inscribe ahora en un plano internacional.

LA IMPORTANCIA DE LA SÍNTESIS Y DE LA ELABORACIÓN

La utilización de la ciencia en la elaboración de materiales

Los científicos en materiales de todo el espectro de disciplinas y especializaciones existentes participan cada vez más en las etapas de elaboración y fabricación de aquéllos. A su vez, los ingenieros en materiales deben estar muy familiarizados con los aspectos científicos y teóricos del diseño y la modelización. Esto llevó a una estrecha integración de la C&IM en tanto que disciplina por lo que respecta a sus aspectos fundamentales y aplicados, que deberían considerarse un conjunto coherente. Paralelamente,

esto generó un provechoso intercambio y un enriquecimiento mutuo entre la investigación científica y los problemas técnicos de la elaboración de materiales, por ejemplo el control de la estructura y el mejoramiento del rendimiento o la fiabilidad y la facilidad de reproducción a bajo costo. La irrupción de la ciencia en la elaboración de los materiales dio origen a una serie de nuevas tecnologías de elaboración, sin las que muchos materiales nuevos hubieran sido meros fenómenos aislados y los existentes no habrían registrado los espectaculares progresos alcanzados recientemente.

Pero mejorar las propiedades de los materiales existentes o crear otros totalmente nuevos sería casi inútil si, al mismo tiempo, no se desarrollaran las tecnologías de elaboración necesarias, así como los equipos y maquinarias para fabricar los elementos, piezas y subsistemas que intervienen en los complejos sistemas de ingeniería y en la producción final. La C&IM permitió realizar progresos espectaculares en el campo de los materiales metálicos; en efecto, las propiedades, el rendimiento y los costos de elaboración de una nueva generación de metales de alto rendimiento y compuestos de matriz metálica han experimentado inmensos adelantos con respecto a los metales existentes hace diez años. Nuevos métodos de elaboración, como la transformación por solidificación rápida, el moldeo por inyección de metal y muchos otros, contribuyen a incrementar considerablemente el rendimiento de los metales. Asimismo, el rendimiento, los costos y la facilidad de fabricación de las aleaciones de diversos tipos, los aceros de gran resistencia y los compuestos de matriz metálica y sistemas estratificados experimentan progresos sin precedentes, lo que les permite competir ventajosamente con las cerámicas y los polímeros y, también, concebir nuevas aplicaciones para los metales.

Por ejemplo, el progreso de los productos del acero en los últimos años es consecuencia del aumento de los conocimientos en C&IM. En la actualidad, es posible fabricar una gran variedad de aceros avanzados más sólidos, resistentes a la corrosión y aptos para la conformabilidad, de composición química y microestructura controladas con gran precisión, que pueden utilizarse en la industria auto-

motriz, la construcción de edificios con materiales de alta tecnología y la exploración de los fondos marinos. Los progresos realizados en el diseño de aceros y en los métodos de elaboración han generado una amplia gama de aceros de hipocaleados de gran resistencia, aceros secados en caliente, aceros ultralimpios y aceros avanzados revestidos, utilizados por los ingenieros de la industria automotriz para mejorar el rendimiento, el estilo, la comodidad, la rentabilidad, la automatización de la fabricación y la flexibilidad y aptitud para el reciclado en el diseño y la producción de automóviles. Prácticamente la mitad de los nuevos aceros utilizados para la fabricación de automóviles en la actualidad no existían hace tan sólo seis años. Y la generación actual de sistemas y tecnologías avanzados de revestimientos de multicapas permite a los ingenieros diseñar en función de las necesidades la protección de la superficie y la cara inferior de la estructura del vehículo. Hace diez años sólo el 10 % de las carrocerías contenían aceros resistentes a la corrosión con recubrimiento metálico. A mediados del decenio de 1990 se preveía que la mayoría de los nuevos vehículos fabricados en los Estados Unidos de América, Europa y el Japón contendrían entre un 60 y un 100 % de materiales de este tipo.

La síntesis entre materiales nuevos y materiales tradicionales considerablemente mejorados, como plásticos, resinas sintéticas, fibras, películas, vidrios puros, cerámicas electrónicas y estructurales, polímeros y compuestos de matriz metálica, aleaciones avanzadas de aluminio y acero, permite fabricar productos aún más perfeccionados a nivel tecnológico, como las nuevas generaciones de turbinas y estructuras de aeronaves, automóviles, robots, televisiones en color, grabadores de vídeo, etc. Esta evolución de las industrias de usuarios hacia la tecnología de avanzada y una sofisticación cada vez mayor impone exigencias técnicas y de rendimiento aún más estrictas a los materiales y no sólo favorece el desarrollo de nuevos materiales que poseen características totalmente novedosas y combinan propiedades inimaginables un decenio atrás, sino que también contribuye a mejorar los materiales convencionales.

Síntesis

Por debajo del descubrimiento de nuevos materiales, con propiedades novedosas y características antes desconocidas, de las mejoras en el control de la estructura, la composición y, por ende, las propiedades de los materiales conocidos, así como de los progresos realizados en el desarrollo de tecnologías de elaboración y fabricación de materiales, se encuentra la síntesis.

Si bien en la C&IM el elemento de síntesis conserva forzosamente una amplia base científica, está relacionado de manera estructural con la elaboración y la fabricación de materiales sólidos. Es que no sólo la elección de reacciones sintéticas influye sobre los procesos de elaboración ulteriores sino que, también, las tecnologías modernas de fabricación entrañan la fusión de las etapas de síntesis y de elaboración en un proceso simultáneo, como en el moldeo por inyección de los plásticos. Por lo tanto, la síntesis, elaboración, fabricación y producción de materiales tienden a fusionarse como consecuencia tanto de fuerzas inherentes a la C&IM y de presiones derivadas de la evolución de las nuevas tecnologías de producción como de la necesidad siempre mayor de utilizar la investigación fundamental sobre materiales en aplicaciones industriales y militares.

En la actualidad, un factor importante que atenta contra la utilización de los materiales avanzados en una amplia gama de aplicaciones tecnológicas e industriales es la capacidad de elaborar sustancias básicas o sintetizadas para obtener soportes de bajo costo fiables y en grandes cantidades, como capas de celuloide, cables, componentes, dispositivos y estructuras que intervienen en complejos sistemas técnicos. Esto es particularmente evidente en las cerámicas de estructura avanzada, los materiales compuestos y los nuevos supraconductores de alta temperatura. Pero algo aún más importante es que, poco a poco, se pone de manifiesto que la competencia tecnológica en la elaboración y fabricación de materiales constituye el elemento determinante de la competitividad internacional entre las estructuras industriales nacionales y los sectores industriales que trabajan en tecnologías tradicionales y en alta tecnología.

DEFINICIÓN DE MATERIALES AVANZADOS

La Oficina de Minas de los Estados Unidos de América, en su *Anuario 1992* (escrito en 1994), distingue cuatro grandes grupos de tecnologías que engloban a la mayoría de los materiales avanzados producidos en ese país, a saber, las cerámicas avanzadas, los compuestos poliméricos avanzados, los compuestos de matriz metálica y los compuestos carbón-carbón. Se define a los materiales de avanzada como «polímeros, metales y cerámicas fabricados como compuestos, aleaciones o derivados intermateriales. Los componentes resultantes ofrecen una relación resistencia-densidad mayor, son más sólidos y resisten mejor al calor, y poseen también una o más propiedades térmicas, eléctricas u ópticas superiores a las de los materiales tradicionales. Los materiales avanzados, que constituyen la base de muchas tecnologías en ciernes, permiten realizar economías en el consumo total de energía, ofrecen un mejor rendimiento a un costo razonable y son menos dependientes de la importación de recursos minerales estratégicos y de importancia crítica.»

METALES AVANZADOS

Los metales y aleaciones avanzados de alto rendimiento constituyen la vanguardia de la investigación en materiales, ya sea aislados como materiales monolíticos o con elementos no metálicos en materiales compuestos. Ocupan un lugar importante en una gran variedad de aplicaciones de punta en la industria aeroespacial, como la construcción de aeronaves militares, aeronaves de transporte civil subsónicas y supersónicas, sistemas espaciales y estructuras de defensa estratégica basadas en el espacio ultraterrestre. Debido a su elevado costo, los metales y aleaciones avanzados no han logrado aún imponerse en mercados distintos del aeroespacial. Sin embargo, muchas empresas japonesas comienzan a utilizar nuevos materiales, entre ellos, ciertos metales. Algunas desarrollan actualmente aplicaciones comerciales no aeroespaciales, esencialmente equipos deportivos y piezas para motores. Tanto el Japón como Europa disputan a los Estados Unidos de América su posición de liderazgo en metales avanzados, en par-

ticular las aleaciones aluminio-litio, los compuestos de matriz metálica y los compuestos intermetálicos. Europa basa sus ambiciones en la experiencia desarrollada en el sector aeroespacial, mientras que el Japón sustenta sus expectativas en sus considerables capacidades para la fabricación de aceros. Las empresas estadounidenses que trabajan en este ámbito trabajan exclusivamente para los mercados militar y aeroespacial. Habida cuenta de la importancia de los metales y aleaciones avanzados, como instrumentos tecnológicos de importancia estratégica, cualquier país que desee desarrollar y mantener una industria aeroespacial (por ejemplo, la República de Corea, el Japón, Europa o el Brasil) deben poseer sólidas capacidades en una gran variedad de tecnologías de metales avanzados. A su vez, si los Estados Unidos de América desean conservar su posición de liderazgo en esa industria deben preservar su preeminencia en el ámbito de los metales avanzados.

CERÁMICAS AVANZADAS

Las cerámicas avanzadas son materiales derivados de los óxidos, nitritos y carburos de silicio, aluminio, titanio y zirconio, elaborados y consolidados a temperaturas elevadas. Estos tipos de materiales avanzados inorgánicos y no metálicos surgieron en los últimos diez o quince años, para satisfacer necesidades industriales y de alta tecnología específicas.

Entre muchas otras aplicaciones, los materiales de cerámicas avanzadas se utilizan cada vez más en fibras ópticas, sustratos y circuitos electrónicos para computadores, nuevos materiales electrónicos activos y pasivos, algunas aplicaciones en automotores (por ejemplo, recubrimientos para la cara interior de pistones), herramientas de corte, turbinas de combustión perfeccionadas, revestimientos de cerámica y turbinas de aeronaves. En la actualidad, se trabaja activamente para comprender mejor los fundamentos de la síntesis y la elaboración de materiales cerámicos estructurales, electrónicos y ópticos, que parecen encerrar una infinidad de posibilidades para aplicaciones futuras.

Entre las técnicas de fabricación de cerámicas pueden citarse las técnicas de formación de polvos, de deposición en fase de vapor, métodos químicos y técnicas de fusión. Se estudia actualmente un método sistemático para mejorar las propiedades de los materiales cerámicos y los procedimientos de control de los procesos.

Para difundir en el futuro los materiales cerámicos avanzados será necesario disminuir el costo de los polvos, incrementar aún más la automatización de los procesos de fabricación, reducir el porcentaje de rechazos, disminuir los costos de acabado y desarrollar nuevas tecnologías de elaboración.

En la actualidad, los principales mercados de las cerámicas avanzadas se encuentran en el sector de la electrónica, si bien las aplicaciones estructurales todavía no han colmado las expectativas iniciales. La producción mundial de cerámicas electrónicas ascendió en 1992 a 428 millones de kg, en comparación con 125 millones de kg de revestimientos cerámicos y sólo 29 millones de kg de aplicaciones de cerámicas estructurales. El índice de crecimiento medio anual previsto por la Oficina de Minas de los Estados Unidos de América hasta 2002 para la producción mundial de cerámicas electrónicas es del 4,6 %, del 1,7 % en el caso de los revestimientos cerámicos y del 3,8 % para las cerámicas estructurales.

POLÍMEROS AVANZADOS

La adaptación de la estructura molecular de los polímeros a cada caso específico exige el desarrollo de nuevas tecnologías de elaboración, para obtener una microestructura cuidadosamente controlada y las propiedades deseadas. Los fabricantes de productos químicos no sólo continúan el desarrollo de polímeros sintéticos, de plásticos industriales, de resinas sintéticas, de fibras y de películas, sino que también han comenzado a desarrollar aleaciones poliméricas que producen materiales con propiedades totalmente nuevas. La combinación de diferentes polímeros genera posibilidades antes insospechadas, gracias a la acumulación de propiedades; por ello, no es sorprendente que en muchos laboratorios de todo el mundo se aplique

ahora a fibras, capas y pinturas el principio de la aleación, originalmente asociado con la metalurgia. Otro importante y dinámico campo de investigación es el de los polímeros de alta calidad, con objeto de atender a las necesidades de las industrias automotriz, aeroespacial, eléctrica y electrónica.

COMPUESTOS AVANZADOS

Corresponde hacer dos observaciones importantes en relación con los materiales compuestos avanzados. La primera es que constituyen la elección por excelencia cuando no se dispone de materiales monolíticos para satisfacer requisitos de rendimiento extremos. La segunda es que, puesto que puede adaptárselos para satisfacer necesidades específicas, la distribución tensiones-deformaciones, diversas condiciones de temperatura y otros requisitos para su uso, están destinados a convertirse en los principales materiales estructurales del futuro y desplazarán a los materiales monolíticos en múltiples aplicaciones. Las exigencias cada vez mayores de las nuevas tecnologías obligan a buscar combinaciones de propiedades que ningún material, por sí solo, está en condiciones de ofrecer. Además, la combinación de una matriz y un agente de refuerzo determinado puede conferir al material compuesto resultante propiedades que ninguno de sus componentes poseía aisladamente.

El elemento determinante de la elección del material que habrá de componer la matriz es la temperatura que tendrá que soportar el material en uso. Las matrices poliméricas utilizan plásticos termoestables no fusibles o epoxis que son materiales termoestables. Sin lugar a dudas, la elección de la matriz determinará el método de elaboración y de fabricación del material. En el caso de un compuesto de matriz polimérica, el proceso es muy largo. Las fibras, en hilos o en haces, se impregnan con la resina de la matriz y, a continuación, se ensamblan a mano o por un proceso de colchado automático en una multiplicidad de capas, para conformar una estructura laminada. Si la resina utilizada es termoestable, la estructura debe ser solidificada mediante un costoso proceso por autoclave, manteniéndose

dosela a menudo a una temperatura elevada durante varias horas. Los compuestos de matriz polimérica son livianos, ofrecen una buena resistencia a la flexión y trabajan en dirección del refuerzo, por lo que se los utiliza en las industrias aeronáutica y automotriz y en la fabricación de otras estructuras móviles. Pero a elevadas temperaturas se descomponen. Además, su proceso de fabricación, aunque cada vez más automatizado, exige mano de obra intensiva y no resulta conveniente para aplicaciones industriales de bajo costo y con importantes volúmenes de producción. Antes de poder comercializárselos de manera satisfactoria habrá que disminuir su costo y mejorar los métodos de fabricación. Según la Asociación de Industrias Aeroespaciales de los Estados Unidos de América, en 1989 las ventas mundiales de compuestos de matriz polimérica ascendieron a 4.000 millones de dólares norteamericanos. Por su parte, la Oficina de Evaluación Tecnológica de los Estados Unidos de América prevé para el año 2000 ventas anuales de compuestos avanzados de un orden de 20.000 millones de dólares. Estos materiales son esenciales para la industria aeroespacial; pero, gradualmente, irán difundándose también dentro de la industria de aviación comercial y, posiblemente, la automotriz. La Oficina de Minas de los Estados Unidos de América estima que el índice de aumento medio anual de fabricación de compuestos de matriz polimérica en todo el mundo superará el 6 % hasta el año 2002.

Cuando la temperatura funcional es suficientemente elevada para degradar un compuesto de matriz polimérica, se estudia la posibilidad de utilizar un compuesto de matriz metálica. Pero los metales tienen una densidad mucho más elevada que la de los polímeros (por lo que las matrices metálicas más comúnmente utilizadas son las de aluminio, magnesio y titanio, los denominados «metales livianos») y plantean serias dificultades para su elaboración. Los compuestos de matriz metálica que ofrecen más posibilidades son las matrices de aluminio con base pulvimetalúrgica reforzadas con partículas, monocristales y laminillas de carburo de silicio, y el sistema líquido de base aluminio reforzado con preformas de fibra de alúmina semicontinuas. Los compuestos de matriz metálica deben hacer frente a múlti-

ples dificultades. La utilización de onerosas materias primas y la complejidad de las tecnologías de elaboración encarecen considerablemente los costos con respecto a materiales rivales. Además, tras ciclos de temperatura repetidos el ligante de refuerzo de la matriz tiende a fallar y el interfaz puede degradarse debido a reacciones entre la matriz metálica y su refuerzo. Nuevamente aquí, es fundamental realizar progresos en las tecnologías de elaboración para difundir más en el futuro los compuestos de matriz metálica. Se estima que las ventas mundiales de compuestos de matriz metálica aumentarán en promedio un 9,3 % por año, principalmente en aplicaciones en la industria automotriz.

Cuando la matriz debe ofrecer la misma resistencia al calor, liviandad, resistencia a la flexión y solidez que el material de refuerzo, se recurre a las cerámicas. Contrariamente a los compuestos de matriz polimérica y a los compuestos de matriz metálica, cuyas fibras se utilizan para suministrar solidez al conjunto, los compuestos de matriz cerámica poseen fibras que bloquean la propagación de fisuras y, por consiguiente, dan tenacidad al compuesto, ya resistente gracias a la matriz cerámica. Muchos compuestos de matriz cerámica acrecientan su tenacidad y, por lo tanto, su resistencia a medida que aumenta la temperatura. No obstante, esta misma propiedad dificulta la elaboración de estos materiales.

Otro compuesto es el carbón-carbón, que soporta las temperaturas más elevadas de todos los compuestos conocidos. Tanto la matriz como el agente de refuerzo son de carbón fabricado a partir de coque de turba por calcinación. Los compuestos carbón-carbón conservan gran parte de su resistencia a 2.500 °C, por lo que puede utilizárselos para fabricar las proas de vehículos espaciales de reentrada. No obstante, subsisten importantes obstáculos para acelerar su comercialización, entre ellos, el hecho de que todavía no se ha desarrollado la capacidad de reproducir compuestos carbón-carbón de manera fiable y la resistencia a la oxidación a temperatura elevada. Se prevé que las ventas de compuestos carbón-carbón en todo el mundo aumentarán algo menos del 5 % por año hasta 2002. Una de sus aplicaciones principales son los frenos de aeronaves.

OPTOELECTRÓNICA

En los últimos años se ha dado gran resonancia al hecho de que vivimos en la era de la información. No obstante, la revolución de la información, con sus diversos aspectos, la informática, las tecnologías de la comunicación y recientemente los multimedia, es inseparable de la revolución de los materiales. Los materiales electrónicos y fotónicos constituyen la base de los sistemas de información y de comunicación y contribuyen a incrementar de manera constante las capacidades de aquéllos. Para poder alcanzar los niveles actuales de funcionalidad de los sistemas de microelectrónica y de telecomunicaciones, fue necesario en primer lugar generar y transmitir señales eléctricas y, más tarde, controlarlas, amplificarlas y conmutarlas. Estos progresos fueron posibles gracias a la utilización de materiales totalmente nuevos o al perfeccionamiento de las tecnologías de tratamiento de la información existentes.

La multiplicación exponencial de la información y la necesidad de comunicar grandes volúmenes de datos llevó al desarrollo de la fotónica, que permite la transmisión de la información por impulsos luminosos. La base de esta tecnología está constituida por una guía de vitrofibra de sílice, que transmite los impulsos luminosos emitidos. Es éste un medio de transmisión de información más eficaz que la emisión de impulsos de señales eléctricas por cable coaxial. Los materiales utilizados son semiconductores compuestos, como indio-galio-arseniuro-fosfuro para el láser emisor de luz, y vidrio ultrapuro para la guía de fibra. La vitrofibra se utiliza ya en múltiples aplicaciones para las comunicaciones telefónicas de larga distancia y locales, e incluso en conexiones entre y dentro de diversas máquinas. Desde el descubrimiento del láser, en 1958, la fotónica progresó rápidamente gracias, en gran medida, a la ciencia e ingeniería de los materiales, que permitieron el desarrollo de semiconductores compuestos y de vidrios ultrapuros.

La optoelectrónica aprovecha los progresos realizados en la física de estado sólido, que permitió concebir nuevas formas de utilizar electrones y fotones. Esta ciencia hizo rápidos avances en el decenio de 1970, con el desarrollo

de fibras ópticas de cuarzo de bajo costo y, ulteriormente, del láser semiconductor de heteroestructura doble, que facilita la oscilación persistente a temperatura ambiente. Estos progresos dieron gran ímpetu a la I+D en el campo de las comunicaciones ópticas, una de las principales aplicaciones de la optoelectrónica. Tras la incorporación generalizada de las redes de comunicación óptica a la infraestructura de las economías de los países desarrollados, este dinamismo ha cedido un tanto. De todas maneras, el costo de los elementos esenciales de la optoelectrónica sigue siendo elevado y se estudian formas de producir componentes de bajo costo y de alto rendimiento.

Muy posiblemente, en el siglo XXI los dispositivos optoelectrónicos (por ejemplo, memorias ópticas, representaciones visuales, circuitos ópticos integrados y hologramas) constituirán la base de muchos progresos tecnológicos. Gracias a sus adelantos, la optoelectrónica será, junto con la electrónica, una de las tecnologías claves del próximo siglo.

La optoelectrónica constituye el pilar de la infraestructura de la información de las economías nacionales e inclusive de la mundial, habiéndosela utilizado sobre todo, hasta el momento, en el sector de las telecomunicaciones. Las telecomunicaciones de alta velocidad y bajo costo, en rápida expansión, unidas al almacenamiento de enormes volúmenes de sonido e imágenes digitalizados, sientan las bases de la comunicación por multimedia y de las superautopistas de la información.

Por el momento, los mercados para componentes de la optoelectrónica son relativamente reducidos y consisten, sobre todo, en pantallas de visualización para computadores portátiles. No obstante, los componentes optoelectrónicos son fundamentales para una variada gama de productos (entre ellos, los reproductores de discos compactos) que no podrían fabricarse sin ellos. Esta tecnología generó en 1994 mercados por alrededor de 50.000 millones de dólares y se prevé que el volumen de negocios aumentará a 200.000 millones de dólares en los próximos 10 años. Únicamente en los Estados Unidos, las ventas de componentes optoelectrónicos (principalmente pantallas) podrían ascender a 50.000 millones de dólares a comienzos del próximo siglo y a 100.000 millones de dólares en el año 2013.

Multimedia

Los multimedia, basados en productos como la televisión interactiva, los CD-ROM y sistemas cliente/proveedor de servicios, continúan multiplicándose y tienen importantes repercusiones sobre los sistemas informáticos, de telecomunicaciones y de medios de comunicación de masas, así como en las industrias de electrodomésticos y del esparcimiento. El Ministerio de Correos y Telecomunicaciones del Japón prevé que, únicamente en ese país, las industrias de multimedia generarán para el año 2010 2,7 millones de nuevos empleos e ingresos del orden de 1.230 billones de dólares, es decir, alrededor del 6 % del PNB, en comparación con el 1,9 % en 1990. Así pues, el volumen de las industrias de multimedia sería tres veces mayor que el de la industria automotriz actual.

Futuros sistemas fotoelectrónicos integrados

Algunos investigadores piensan que en el siglo XXI la microelectrónica se combinará con la optoelectrónica para producir sistemas fotoelectrónicos integrados que, probablemente, se convertirán en los principales medios de tratamiento de la información. Los sistemas fotoelectrónicos bien podrían generar un inmenso mercado en el que la optoelectrónica ocuparía un papel preponderante. La utilización de fuentes luminosas en estos sistemas permitirá alcanzar velocidades elevadas, ahorrar energía, disminuir el nivel de ruido y trabajar en tridimensional. Es posible desarrollar sistemas superparalelos tridimensionales para aplicaciones en computadores de ultra alta velocidad y sistemas centrales y ópticos.

Los fotones ofrecen una alta velocidad (la de la luz), consumen poca energía y son ideales para efectuar interconexiones con convergencia de entrada y divergencia de salida. Además, resultan ideales como portadores de señales. Los electrones presentan la carga por masa más importante y constituyen los mejores portadores para operaciones lógicas realizadas en circuitos integrados de semiconductores de alta densidad. Estas propiedades constituyen actualmente la base sobre la que puede progresarse en comunicaciones ópticas y en microelectrónica. Sin embargo, en el futuro, los fotones y los electrones se combinarán en un

sistema único, para suministrar una gran variedad de sistemas basados en circuitos integrados optoelectrónicos en ultra gran escala, que constituirán el equipo básico de los sistemas fotoelectrónicos del próximo siglo. Estos sistemas podrán fabricarse una vez que hayamos desarrollado la tecnología necesaria para combinar los componentes optoelectrónicos con los elementos electrónicos apropiados.

Nanoelectrónica

La creciente miniaturización nos lleva hacia una era, tan sólo a tres generaciones de la tecnología actual de circuitos integrados, en la que los transistores serán demasiado pequeños para imprimir sobre silicón. Los dispositivos se medirán en nanómetros o miles de millonésimas de metro, y deberán incrustarse en los materiales como conglomerados de átomos. Los investigadores estudian en la actualidad materiales y dispositivos construidos por capas con un espesor de un solo átomo. Si logramos controlar con extrema precisión la estructura y la composición de capas de materiales de uno o dos átomos de espesor, podremos generar las propiedades y características electrónicas necesarias. Al consolidar más estrechamente transistores aún más pequeños, los investigadores pueden incrementar la potencia y la velocidad de los circuitos, ampliando así de manera espectacular la capacidad de cualquier sistema que utilice circuitos integrados.

Un hito en la miniaturización electrónica

El 25 de octubre de 1994, los investigadores del Toshiba Cambridge Centre y de la Universidad de Cambridge anunciaron que habían desarrollado el primer proceso en el mundo para fabricar circuitos integrados con efecto cuántico. Por su importancia, esto es comparable a la invención de los circuitos integrados en 1958, que llevó al desarrollo de la microelectrónica y a la revolución de la información, la cual ha realizado importantes progresos desde comienzos del decenio de 1970. El proceso Toshiba permitiría fabricar en un solo circuito dispositivos compuestos por millones de componentes microscópicos, de una densidad total inferior a 10 átomos. Estos compo-

mentes son tan pequeños que los electrones en ellos deberían comportarse a la vez, según lo preveía la teoría cuántica, como partículas y como ondas, lo que permitiría a los circuitos perfeccionados conmutar a una velocidad considerablemente mayor que en circuitos convencionales. La miniaturización de los dispositivos electrónicos a este nivel produciría memorias de computador y de microprocesador 500 veces más veloces que las de los circuitos de silicio actuales, ocupando 500 veces menos espacio. Si bien varios laboratorios lograron ya fabricar componentes microscópicos de este tipo, los procesos de producción son por el momento lentos y costosos. El proceso Toshiba, en cambio, permite una producción en masa de estos componentes.

SUPRACONDUCTORES

El fenómeno de la superconductividad entraña la total desaparición de la resistencia eléctrica cuando un material se enfría por debajo de una temperatura crítica (T_c). Hasta fines de 1986, la superconductividad estaba relacionada principalmente con las propiedades de los metales, por ejemplo, el niobio y las aleaciones, a temperaturas cercanas a cero absoluto (es decir, 0 en la escala Kelvin, en la que $0\text{ K} = -273\text{ °C}$). Pero a estas temperaturas tan bajas, únicamente el helio, con un punto de ebullición de 4,2 K, es líquido y puede utilizarse en sistemas criogénicos. Incluso en ese caso, una instalación criogénica con base en helio debe enfriarse con nitrógeno líquido (punto de ebullición 77 K), por lo que este sistema es caro, complejo y difícil de aplicar en maquinarias. La temperatura de superconductividad más alta registrada hasta el momento fue de 23K para una aleación metálica niobio-germanio. Un equipo de IBM, que obtuvo el Premio Nobel por sus trabajos, mejoró esta marca sólo en 7K, utilizando por primera vez materiales cerámicos. Posteriormente, se descubrieron nuevos materiales cerámicos que alcanzaron temperaturas de superconductividad mucho más elevadas. En mayo de 1993 se descubrió un semiconductor de mercurio-óxido de cobre con una T_c de 133K. En diciembre de 1993 se informó que se había descubierto en Fran-

cia un sistema de óxido de cobre al bismuto con una T_c sorprendente de 250 K, es decir, prácticamente una temperatura ambiente. Si bien esta noticia aún no fue confirmada, suscitó considerable interés en todo el mundo.

¿Por qué razón es tan importante la superconductividad? En primer lugar, el hecho de que los materiales superconductores enfriados por debajo de su temperatura crítica permiten una circulación de la corriente eléctrica con resistencia nula significa que no hay pérdida de energía o de calor en el proceso. En segundo término, un material en estado de superconducción puede generar líneas de flujo magnético intenso y, así, rechazar a los electroimanes. Esto se conoce como el efecto Meisner. Estas fuerzas magnéticas son tan potentes que pueden levantar un tren de su vía y propulsarlo a 550 km por hora. En tercer lugar, los materiales superconductores poseen propiedades electrónicas que permiten a los electrones saltar instantáneamente entre los componentes, según el efecto Josephson. Esto podría constituir la base de una nueva generación de supercomputadores portátiles millones de veces más rápidos que los modelos actuales. Además, estas propiedades permiten detectar cambios ínfimos en los campos magnéticos externos, como los generados por las ondas cerebrales humanas, y se utilizan en los interferómetros cuánticos superconductores de alta temperatura (SQUIDS) para diagnósticos médicos. Estos aparatos ya se utilizan, y funcionan con costosa superconductividad de baja temperatura. Sin embargo, la superconductividad de alta temperatura podría estar a disposición de la profesión médica dentro de muy pocos años.

Los nuevos superconductores que funcionan con temperaturas superiores a las del nitrógeno líquido bien podrían, por sí solos, transformar la tecnología; pero la verdadera revolución tendría lugar si se descubriera una superconductividad a temperatura ambiente. El aprovechamiento de este hallazgo modificaría de manera radical la tecnología y la vida cotidiana, al suministrar electricidad barata y sin atenuación. Así, entre una multiplicidad de aplicaciones insospechadas hasta el momento podrían fabricarse, por ejemplo, motores e impulsores compactos que se incorporarían a bienes de consumo duraderos, auto-

móviles, motores de accionamiento de máquinas herramientas y equipos motores que sustituirían a los sistemas hidráulicos actuales de las aeronaves. Pero, habida cuenta de la falta de conocimientos teóricos sobre la superconductividad en metales, e incluso más en el caso de los nuevos materiales, no podemos prever cuándo se dispondrá de superconductividad a temperatura ambiente.

A mediano plazo, los principales beneficios económicos de la superconductividad de alta temperatura se obtendrán de aplicaciones en pequeña escala, en particular en diversas maquinarias industriales y en dispositivos electrónicos. A largo plazo, la superconductividad podría revolucionar la generación, transmisión y distribución de energía y de electricidad, incluidos los generadores superconductores, los transformadores de energía, el almacenamiento de energía, cables de alta tensión y dispositivos de fusión nuclear. Además, la superconductividad ocupará un lugar preponderante en los sistemas de transporte de alta velocidad, no sólo en los sistemas expresos de levitación magnética en crucero, sino también en sistemas de propulsión marina y submarina y en vehículos y estaciones espaciales, lanzadores electromagnéticos y aeronáuticos y aplicaciones en el sector automotriz. En el próximo siglo, la I+D en superconductividad estará íntimamente vinculada a la solución de problemas de energía, ambientales y médicos urgentes. La solución de estos problemas, que podría aportar enormes beneficios a quienes la encuentren, demandará un esfuerzo sostenido por parte de los gobiernos y de la industria.

MATERIALES INTELIGENTES

Los materiales inteligentes son materiales avanzados que responden o reaccionan frente al entorno en que funcionan. Para reaccionar, un material inteligente debe poder recibir información, elaborarla, tomar una decisión y actuar en consecuencia. Un ejemplo de material inteligente que puede reaccionar y adaptarse a un estímulo externo específico es el vidrio fotorreactivo. Sin embargo, los materiales inteligentes que pueden aprender a reaccionar y adaptarse a una serie de complejos y múltiples estímulos

exteriores como lo hacen los sistemas naturales se encuentran aún en sus etapas preliminares. De todas maneras, habida cuenta de las inmensas posibilidades que encierran, se multiplican las investigaciones en este campo en el Japón y, en menor medida, en los Estados Unidos y recientemente en Europa.

Las propiedades y capacidades funcionales de los materiales inteligentes están contenidas en un solo material, a nivel de su estructura atómica o molecular. El desarrollo de estos materiales entraña una colaboración entre distintas disciplinas, como la química de estado sólido, la química de polímeros y la biomimética (literalmente, la imitación o la reproducción de la capacidad que tienen los sistemas biológicos de percibir cambios, ya sea en su propia condición o en el entorno, y de adaptarse en consecuencia). Los materiales inteligentes, con propiedades multifuncionales y prolongado rendimiento en uso dependen, para convertirse en algo más que fenómenos de laboratorio, de los progresos futuros en las técnicas de síntesis, fabricación y elaboración de materiales. En cambio, las estructuras inteligentes se ensamblan a partir de una serie de elementos y materiales heterogéneos y, aunque no es necesario utilizar en ellas materiales «inteligentes», las estructuras resultantes bien pueden serlo.

La investigación mundial en este campo avanza en dos direcciones. En los Estados Unidos de América y en Europa se estudia la posibilidad de introducir nuevas propiedades y funciones en los materiales existentes e incorporarlos después a estructuras inteligentes. En los Estados Unidos gran parte de la investigación y la inversión en este campo se concentra en aplicaciones militares. No obstante, se procura ahora transferir estos conocimientos a aplicaciones civiles, por ejemplo, el desarrollo de infraestructuras más seguras y duraderas para carreteras, edificios, puentes y canalizaciones. En el Japón se ha adoptado un enfoque totalmente distinto. En efecto, en ese país los investigadores trabajan de manera retrospectiva y desarrollan materiales inteligentes a partir de principios básicos, examinando las funciones de los materiales en general y la manera en que puede mejorárselos. Al preguntarse qué parte de una máquina puede realizar una función humana,

el investigador procura introducir en el sistema el elemento humano. Los materiales inteligentes actualmente en estudio en el Japón pueden percibir su entorno, diferenciar entre los diversos estímulos y responder a aquellos que consideran pertinentes o importantes.

BIOMIMÉTICA

Los científicos se inspiran también en la naturaleza para crear una gran variedad de materiales nuevos revolucionarios e interesantes. Por ejemplo, la arquitectura molecular de la conchilla de un molusco, la oreja marina, y de los exoesqueletos de coleópteros suministran una base para crear nuevos materiales con aplicaciones en alta tecnología. La conchilla de la oreja marina es un compuesto cerámico de caliza que ofrece una resistencia muy elevada debido a la excepcional organización de su estructura molecular. A partir de este modelo y utilizando materiales de alta tecnología, los científicos han sintetizado un revestimiento de tanque resistente a los impactos dos veces más resistente que las cerámicas utilizadas en la actualidad. Inspirándose en el exoesqueleto liviano pero sólido del escarabajo longicorne, los investigadores desarrollaron compuestos avanzados para vehículos espaciales. Este esqueleto natural es un complejo conjunto de fibras entrelazadas, a su vez generalmente compuestas, que permiten al insecto respirar, lo aíslan, son resistentes y poseen mecanismos de detección de eventuales peligros con control incorporado. Estas propiedades resultan particularmente útiles en los vehículos espaciales.

NANOTECNOLOGÍAS

La tendencia inexorable hacia dispositivos cada vez más pequeños nos llevará a una era en la que será a la vez necesario y posible disponer de aparatos en escala atómica. En la actualidad, todas las tecnologías utilizan grandes conglomerados de átomos. No obstante, nuestra generación es la primera no sólo en poder visualizar los átomos mediante microscopios de barrido con efecto túnel y de fuerza nuclear, sino que también comienzan a

construirse estructuras en miniescala, en las que cada átomo actúa como módulo constitutivo. La nanotecnología es la consecuencia lógica de nuestros esfuerzos por controlar y manipular la materia. Esta ciencia permitirá, con el tiempo, producir computadores económicos de un centímetro cúbico, capaces de tratar 10.14 millones de instrucciones por segundo y podrán autorreproducirse, o crear robots industriales submicrométricos. En efecto, la nanotecnología encierra inmensas posibilidades comerciales, médicas, aeroespaciales y militares, ya que suministraría los medios para un control futuro de la estructura de la materia global, preciso y de costo accesible. Los productos resultantes podrían ser extremadamente rendidores, muy económicos y fiables y consumirían poca energía.

Estamos aún lejos de haber desarrollado plenamente la nanotecnología molecular y las capacidades de fabricación necesarias. Pensamos que esto se producirá en los próximos dos o tres decenios y que los primeros resultados en computadores y máquinas moleculares serán perceptibles en 2010-2020, cuando la tecnología actual de circuitos integrados haya agotado sus posibilidades. La nanotecnología constituirá la base de todas las tecnologías del próximo siglo. Su repercusión sobre la vida cotidiana, la industria y la economía será tan importante como la provocada por la revolución industrial, si bien se hará sentir en un lapso de tiempo más breve.

MATERIALES NUEVOS Y ESTRATEGIAS EMPRESARIALES

Las empresas, industrias y naciones que producen y utilizan materiales se ven obligadas a concebir y desarrollar respuestas estratégicas a largo plazo frente a la trascendental evolución del sector de los materiales. A continuación trazaremos un breve panorama de la situación actual en ese campo.

Comprensión fundamental de los materiales

Es prioritario seguir acumulando conocimientos fundamentales sobre el comportamiento de los materiales y sus

aplicaciones para poder hacer frente, a fines del decenio de 1990 y comienzos del próximo siglo, al paradigma que se perfila en el sector de los materiales. Las empresas productoras de aluminio, acero, níquel, manganeso, productos químicos, cerámicas y vidrios, entre otros, deberán desarrollar sus capacidades para comprender y definir cuantitativamente la microestructura de un material y su relación con el proceso de elaboración y con el rendimiento, en colaboración con centros nacionales de investigación y universidades en el país y en el extranjero. A continuación, estas capacidades deberán aplicarse a la concepción integrada de un material, un producto o un componente, así como al proceso de fabricación. En esta etapa será fundamental poseer capacidades de *modelación* y de *simulación*, así como de experimentación, evaluación y caracterización, tanto dentro de cada unidad de investigación como a través de la infraestructura tecnológica.

Acercarse al cliente

La segunda prioridad es que los productores de materiales se acerquen a sus clientes, para suministrarles sistemas de materiales en aplicaciones funcionales y estructurales que sean ecológicamente racionales, ambientalmente sostenibles y rentables y que satisfagan también sus necesidades de fabricación y de utilización final de los productos. Ello significa que los productores de materiales deben comprender las necesidades de las industrias usuarias (por ejemplo, automotriz, aeroespacial, de ingeniería, micro y optoelectrónica, etc.) en términos de rendimiento y fabricación (es decir, en técnicas de armado, conformación o ensamblado).

Construir la materia a niveles atómico y molecular

En la investigación de materiales se observa actualmente una clara tendencia a trabajar a escala atómica. En los próximos veinte años, los productores de materiales incrementarán de manera constante sus capacidades para diseñar y crear materiales adaptados a partir de la manipulación y el control de átomos y grupos de átomos. Con el rápido progreso de los conocimientos fundamentales, las capacidades informáticas y las simulaciones, los materiales conocidos aumentarán considerablemente su rendimiento y el

ciclo de I+D será mucho menos prolongado. Además, los materiales nuevos se elaborarán con métodos cuantitativos basados en la física. Los decenios de 2010 y 2020 marcarán la era de los materiales en nanofase y de las tecnologías de elaboración en nanofase.

ESTRATEGIAS NACIONALES INDUSTRIALES, CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS PARA LOS MATERIALES DEL SIGLO XXI

En la actualidad, la evolución tecnológica en prácticamente todos los ámbitos importantes depende en gran medida de los progresos de los materiales. Los materiales convencionales no están en condiciones de satisfacer los nuevos requisitos que imponen múltiples aplicaciones de alta tecnología. Así pues, los nuevos adelantos en información y comunicaciones, transporte de superficie, actividades aeroespaciales, operaciones en el fondo marino, conversión y conservación de la energía, materiales biocompatibles y diagnóstico médico, productos inocuos para el medio ambiente y tecnologías «limpias», biotecnología y ciencias biológicas, dependen de la evolución de los materiales.

Las ciencias fundamentales como soporte de las nuevas tecnologías

Más que nunca antes, las ciencias fundamentales permiten ahora importantes progresos tecnológicos y suministran los conocimientos que sustentan el adelanto de la técnica. Por consiguiente, el respaldo a la investigación científica pura se ha convertido en una variable política crucial en los debates relativos a las estrategias para mantener el liderazgo tecnológico y establecer políticas industriales adecuadas. No obstante, corresponde destacar que, en el presente, la relación entre ciencia y tecnología es compleja y entraña procesos de retroalimentación y la necesidad permanente de hallar un equilibrio entre las necesidades de la ciencia y las del mercado. Además, los gobiernos y las industrias interactúan en todas las etapas del ciclo de investigación, desarrollo tecnológico y comercialización.

El Gobierno Clinton, en los Estados Unidos de América, privilegia actualmente una orientación de la inves-

tigación fundamental hacia las necesidades industriales y las aplicaciones comerciales. Inclusive, ha revelado ambiciosos planes tecnológicos para incrementar la competitividad industrial de ese país y desarrollar las tecnologías de la próxima generación, mediante acuerdos de colaboración entre el Estado, los medios académicos y la industria. Este esfuerzo se concentrará en el sector automotriz –con objetivos enunciados hasta el año 2003–, las pantallas de cristales líquidos, las autopistas de la información y otros ámbitos actualmente en estudio en la Oficina de Ciencia y Tecnología, directamente dependiente de la Presidencia estadounidense.

Hay un reconocimiento general de que en el Japón se plantean considerables dificultades en la esfera de la investigación científica fundamental. Pero éstas no son insuperables y sería un grave error desconocer o subestimar el ingente esfuerzo y los innumerables recursos invertidos en años recientes para poder satisfacer las necesidades de una investigación científica creativa. Muchas empresas niponas han creado una multiplicidad de laboratorios de I+D, mientras que la internacionalización y la ubicación de los centros de I+D en el extranjero permiten a dichas empresas aprovechar la base de conocimientos científicos de todo el mundo y contratar a los mejores investigadores de cada lugar.

Recientemente, el Japón decidió aumentar con carácter urgente al 1% del PIB los gastos gubernamentales en I+D fundamental y continuar la reestructuración del sistema de I+D, con objeto de reflejar tanto la creciente importancia de la investigación fundamental en la tecnología de avanzada como el hecho de que ese país se ha convertido en un pionero del progreso tecnológico. Se reorganizaron los 16 laboratorios del AIST/MITI y se están creando nuevos centros de excelencia científica. Asimismo, en 1993 se reestructuró el sistema de I+D del MITI en el Programa de Fronteras Industriales en Ciencia y Tecnología.

Las nuevas tecnologías: un arma estratégica en la competencia mundial

Los esfuerzos forzosamente generales de investigación científica y el despliegue de creatividad inventiva serán

prácticamente intrascendentes si no conducen al desarrollo de tecnologías útiles.

Independientemente del origen de las invenciones tecnológicas, las empresas e industrias de mayor éxito son aquellas capaces de incorporar estos adelantos, de manera rápida y eficaz, a nuevos productos y procesos innovadores y comercialmente viables, llegando así más rápidamente al mercado que las empresas rivales. En un contexto mundial ferozmente competitivo, los recursos tecnológicos desarrollados de forma simultánea y coincidente permiten a las empresas embarcarse en un proceso de concepción y fabricación integradas y paralelas de los productos, lo que a su vez da lugar a una renovación más rápida de aquéllos y a una innovación permanente. Por otra parte, esta acelerada renovación de los productos permite a la industria incorporar las últimas invenciones e innovaciones tecnológicas a nuevos bienes de consumo más sofisticados o a maquinarias y equipos industriales y, así, llegar al mercado antes que la competencia. Por consiguiente, el éxito comercial e industrial reside en aquellos mecanismos institucionales y en las capacidades técnicas de concepción y fabricación que permiten a las empresas transferir los progresos tecnológicos a aplicaciones comerciales. Sin lugar a dudas, la tecnología es un recurso crítico para adquirir ventajas competitivas en el mercado mundial.

Tecnologías nuevas y cruciales en el decenio de 1990

En un importante estudio presentado al Presidente estadounidense George Bush, en marzo de 1991 (actualizado en 1993 y 1995), el Panel sobre Tecnologías Nacionales de Importancia Fundamental seleccionó 22 tecnologías, que estimó esenciales para garantizar la competitividad militar y económica y que, por lo tanto, exigen una concentración de esfuerzos. El Panel hizo particular hincapié en la necesidad de que la industria estadounidense adoptara un enfoque integrado tanto para el desarrollo de productos como en los procesos de fabricación conexos. Habida cuenta de la sólida base de conocimientos científicos existente, se plantea paralelamente la preocupación de cómo transferir

los progresos tecnológicos resultantes a productos comerciales y sistemas militares de gran calidad y rendimiento y de costo reducido.

La lista de tecnologías críticas elaborada por el Panel en 1991 y 1993 es similar a las publicadas por los Ministerios de Comercio y de Defensa de los Estados Unidos de América en 1990 y 1991. Además, países tan distintos como Australia, Alemania y el Japón publicaron en los últimos años listas de nuevas tecnologías críticas. Entre 1991 y 1993, Alemania colaboró con el Japón en un ejercicio de previsión tecnológica, utilizando el método Delphi en 1.500 importantes sectores tecnológicos. En 1994, y después de estudiar el método japonés, el Reino Unido lanzó también un programa de previsión tecnológica. En mayo de 1995 se publicaron varios informes sectoriales y en mayo de ese año apareció el primer informe del Panel de Previsión Tecnológica, que reflejaba la opinión de varios miles de expertos británicos. Sin duda, deben redoblarse los esfuerzos en I+D de la lista de tecnologías críticas identificadas. Es innegable que serán aquellas empresas e industrias que estén a la vanguardia en las tecnologías críticas de avanzada de la próxima generación las que ocuparán una posición de liderazgo industrial en el siglo XXI.

Alianzas entre los sectores público y privado

Los Estados Unidos de América reorganizaron recientemente su metodología de I+D inspirándose en el modelo japonés. Lo mismo sucedió en Taywan y en la República de Corea. Por su parte, los nuevos Programas Marco de la Unión Europea están claramente orientados hacia las aplicaciones comerciales. Así, una consecuencia fundamental de la coyuntura actual es la necesidad de adoptar un enfoque estratégico a largo plazo para la C&T. A menudo la complejidad, los costos, el riesgo y el horizonte temporal de los proyectos impiden la participación del sector privado. El desarrollo de las tecnologías de la próxima generación, que ofrecen enormes posibilidades comerciales y que son necesarias para satisfacer demandas sociales, médicas, ecológicas y energéticas, obligará a las empresas a realizar esfuerzos sistemáticos y de largo aliento en la esfera

de la I+D; con ese fin, deberán concertarse alianzas entre empresas y establecerse programas de colaboración entre la industria, centros nacionales de investigación y universidades.

El sector privado puede participar en programas conjuntos de I+D, de largo aliento y con un coeficiente de riesgo importante, pero también puede perseguir sus propios objetivos de I+D. Además, las empresas privadas pueden y deben definir sus propios programas tecnológicos de I+D de orientación comercial, a corto y mediano plazo. Ambos enfoques son complementarios, no se excluyen mutuamente y no deben ser confundidos.

Japón: de la retaguardia a la vanguardia en las fronteras de la ciencia y la tecnología en el decenio de 1990

La promoción del desarrollo y de la utilización de nuevos materiales forma parte de un enfoque estratégico a largo plazo, con objeto de reorientar a la industria japonesa hacia una producción de alta tecnología y con un importante coeficiente de conocimientos. Tanto el sector público como el privado estiman que los nuevos materiales deben sustentar la evolución en todas las tecnologías de avanzada y, a la vez, conferir superioridad competitiva a la industria manufacturera. Por lo tanto, los materiales avanzados constituyen elementos prioritarios y estratégicos para reorientar con éxito la actividad hacia la alta tecnología y lograr una superioridad absoluta en el mercado mundial. A mediados del decenio de 1980, centenares de empresas japonesas comenzaron a trabajar en y con materiales nuevos y en los últimos años vienen concentrando sus esfuerzos en la comercialización de materiales ya desarrollados y relacionados con sus ventajas técnicas actuales. Al mismo tiempo, las principales firmas japonesas mantienen e intensifican sus actividades de I+D a largo plazo en tecnologías de materiales básicos para el siglo XXI (entre ellas, Toshiba, NEC, Sharp, Nippon Steel). Las empresas más pequeñas se concentran en unos pocos, o incluso en un solo material avanzado, con posibilidades comerciales precisas y más inmediatas.

Una nueva división del trabajo a niveles mundial y regional

En los últimos años se ha puesto de manifiesto una compleja redivisión internacional y regional del trabajo, en virtud de la cual países de diversos niveles de desarrollo industrial y económico concentran sus esfuerzos en productos y procesos más sofisticados y de mayor valor añadido. Los países industrializados de Europa, el Lejano Oriente y América del Norte privilegian ahora una producción de mayor valor añadido, que utiliza tecnologías de fabricación de avanzada. Imitan este ejemplo economías recientemente industrializadas como el Brasil, México, Tailandia, la República de Corea y Singapur. Los tres últimos anunciaron planes de orientar sus economías hacia la alta tecnología y alcanzar, así, la condición de economías plenamente industrializadas para el año 2000 (2030 en el caso de Singapur).

A su vez, estos países van seguidos muy de cerca por naciones recientemente industrializadas de segundo nivel y por países en vías de industrialización, como la India, Tailandia y Malasia. Varias otras naciones tienden a ocupar los lugares dejados vacantes por las economías del segundo grupo, entre ellas Indonesia, Filipinas, China y Vietnam. Se pone así claramente de manifiesto que, cuando los países reestructuran sus economías y pasan a niveles de desarrollo tecnológico más elevados, encuentran problemas para disponer a nivel local de materiales avanzados, repuestos, componentes y dispositivos. A menudo, los componentes avanzados necesarios no pueden obtenerse de fuentes externas —que suelen ser competidoras—, su costo es prohibitivo, son de calidad insuficiente o no se entregan dentro de los plazos previstos. Por lo tanto, es esencial poseer cierto grado de autonomía, independencia y competencia nacional en tecnologías de materiales avanzados. Además, los abastecedores nacionales y las empresas de servicios y mantenimiento desempeñan también un importante papel de respaldo a las actividades manufactureras locales competitivas o para atraer inversiones extranjeras directas en determinados sectores. Ello explica la importancia que asignan países como Malasia y Tailandia a la promoción de la producción nacional de repuestos y compo-

ponentes, a fin de ampliar su infraestructura industrial, prestar apoyo a las industrias usuarias y atraer inversiones extranjeras cada vez más complejas. Ilustra a las claras esta tendencia la rápida expansión de la industria electrónica en Malasia.

Nuevas estrategias en los Estados Unidos de América

Una serie de informes recientes asignan particular importancia a los materiales avanzados, considerándolos elementos de una tecnología esencial para garantizar la competitividad de los Estados Unidos de América a nivel mundial y para que ese país alcance o mantenga una posición de liderazgo en diversos sectores de la tecnología de avanzada. Por ejemplo, el informe del Panel sobre Tecnologías Nacionales de Importancia Fundamental (1991, 1993, 1995) hizo particular hincapié en la necesidad de desarrollar capacidades en síntesis y elaboración de materiales. El informe destacó también la necesidad de que la industria estadounidense adoptara un enfoque integrado y, por consiguiente, de permanente mejoramiento en el desarrollo de productos y en los procesos de fabricación conexos. Teniendo presente la sólida base científica de los Estados Unidos de América, el informe mencionó asimismo la importancia de una transferencia más eficaz de los progresos tecnológicos resultantes a productos comerciales y sistemas militares de alta calidad, elevado rendimiento y costo moderado.

En un relevante informe del Consejo Nacional de Investigaciones, denominado *Materials Science and Engineering for the 1990s* (Ciencia e Ingeniería de los Materiales para el Decenio de 1990), publicado en 1989, se insiste en la importancia crítica de la síntesis y la elaboración de materiales. Este tema también fue tratado en el informe ulterior de la Asociación de Investigación en Materiales, evaluándose en él los progresos realizados en la aplicación de las recomendaciones del Consejo Nacional de Investigaciones y las condiciones para ello. El informe afirma algo importante, y bastante sorprendente en el contexto estadounidense, a saber, que los Estados Unidos de América deberán desarrollar un método de planificación estratégico y

centrado en objetivos concretos para la I+D de materiales, con la cooperación de la industria, el mundo académico y los centros nacionales de investigación.

Estos dos informes suministraron los elementos claves para la preparación del programa nacional de C&T de los materiales, titulado Programa de Elaboración de Materiales Avanzados.

Con el fin de aprovechar las oportunidades y satisfacer las necesidades identificadas, durante el año económico 1993 se lanzó un programa entre organismos, que se llevará a cabo durante varios años y estará destinado a incrementar la eficacia del programa de C&T en I+D de los materiales. Los objetivos del Programa de Elaboración son mejorar la fabricación y el rendimiento de los materiales, incrementar el nivel de vida de ese país y contribuir al crecimiento económico. El Programa asignará una importancia particular a los puntos de contacto entre el mundo académico, los centros nacionales de investigación y la industria, así como al proceso de transferencia de la investigación fundamental a diversas aplicaciones tecnológicas. Se espera que esta iniciativa dé un nuevo impulso a una tendencia emergente en los Estados Unidos de América en I+D de materiales. En efecto, mientras que en el pasado se centraba en la transformación de materias primas naturales a fin de desarrollar tecnologías útiles, la I+D tiende ahora a trabajar cada vez más en materiales especialmente diseñados para lograr propiedades específicas.

Estrategias en la Unión Europea

Desde, por lo menos, mediados del decenio de 1980, se intensifican los sostenidos esfuerzos realizados en la Unión Europea para mejorar las tecnologías industriales y de materiales. En la actualidad se procura, muy particularmente, determinar a nivel comunitario las tendencias y necesidades emergentes en tecnología de los materiales y crear el marco adecuado para que el sector privado esté en condiciones de iniciar actividades de I+D de orientación comercial. Un amplio y detallado estudio realizado por encargo de la Comisión de la Unión Europea, publicado recientemente, examinó la situación actual de las tecnologías industriales y de materiales, así como sus necesidades

tecnológicas básicas y las tendencias observadas en su desarrollo dentro de la Unión. Los resultados del estudio ponen de manifiesto que las tecnologías industriales y de materiales tienen una importancia tecnológica y económica crucial para la Unión y que el recurso a nuevos materiales, diseños de avanzada y nuevos canales de comercialización, así como a estrategias perfeccionadas, no podrá sino incrementar la competitividad de la industria europea. Desde 1986 se realizan programas de I+D en cooperación (BRITE/EURAM), con importantes repercusiones para la industria europea.

Oportunidades para las economías que poseen abundantes recursos minerales

Corresponde tener presente que más de 60 elementos utilizados en los nuevos materiales derivan de minerales. Entre ellos figuran los siguientes: lantánidos, zirconio, hafnio, bismuto, arsénico, cadmio, germanio, galio, indio, talio, selenio y telurio. Algunos de ellos se obtienen de limitadas reservas nacionales existentes en los países desarrollados o son productos derivados de la metalurgia, una industria en declinación. Por consiguiente, algunos países, como los Estados Unidos de América, tienen problemas para desarrollar y utilizar materiales avanzados, ya que disponen de una cantidad limitada de recursos minerales y de instalaciones de elaboración. Además, ese país depende de manera considerable de la importación de algunos materiales, ya que carece de reservas de cesio, osmio, rubidio y rutenio, elementos necesarios para la obtención de materiales avanzados destinados a la electrónica, la producción de energía y la biomedicina. Los nuevos materiales ofrecen a los países que poseen abundantes recursos minerales, como Australia, el Canadá, China, Malasia, Sudáfrica y el Brasil, considerables oportunidades para conquistar nuevos mercados.

La determinación de Australia de desarrollar sus capacidades en materiales avanzados utilizando recursos locales, con el claro objetivo de desarrollar tecnologías de materiales para mercados masivos (por ejemplo, componentes de magnesio para la industria automotriz) y de reforzar paralelamente su base manufacturera y establecer

vínculos entre ésta y la infraestructura de investigación fundamental, constituye un modelo muy instructivo para otras economías que poseen abundantes recursos minerales. Además, la supresión de las sanciones impuestas a Sudáfrica hizo que los productores metalúrgicos japoneses invirtieran en el sector minerometalúrgico de ese país. Tras la elección del gobierno mayoritario del African National Congress (ANC) en 1994, se asigna mayor importancia al desarrollo de capacidades nacionales en ciencia y tecnología y en el sector minerometalúrgico. Entre 1988 y 1993, el Canadá desarrolló una estrategia en metales avanzados en la que el gobierno actuó como catalizador, con un enfoque de orientación comercial. Pero ya no se dispone de fondos para realizar esas actividades y el gobierno canadiense procede ahora a una revisión de su estrategia, con objeto de incrementar la eficacia de la I+D. Al mismo tiempo, los materiales avanzados siguen considerándose un aspecto crucial para el progreso industrial de ese país en el siglo XXI. Muchas empresas canadienses realizan actividades de I+D y examinan también posibles aplicaciones de los materiales avanzados, cerámicas y compuestos poliméricos.

Los nuevos materiales y los objetivos

socioeconómicos de los países en desarrollo

Las necesidades básicas de los países en desarrollo en materia de vivienda, transporte, envasado de alimentos, distribución de agua y energía y atención de salud pueden satisfacerse mediante una mejor utilización y un perfeccionamiento de los recursos naturales nacionales o regionales, aprovechando para ello los conocimientos científicos existentes y las tecnologías nuevas y mejoradas disponibles. La revolución de los materiales ofrece a estos países la oportunidad de aprovechar mejor los materiales locales, mientras que disminuye de manera considerable las necesidades energéticas y los trastornos para el medio ambiente. Asimismo, permite desarrollar materiales avanzados capaces de satisfacer sus necesidades y requisitos. En otras palabras, los materiales avanzados deben ser especialmente diseñados para poder acomodar las necesidades y cumplir con los requisitos específicos de la industria y la

infraestructura de los países en desarrollo. Es fundamental movilizar la nueva ciencia e ingeniería de los materiales tanto a nivel internacional como en el mundo en desarrollo para contribuir al desarrollo en los decenios venideros. Sucede que, aunque la base científica de los nuevos materiales es común a todo el planeta, la orientación de las aplicaciones y una I+D centrada en la solución de problemas no pueden soslayar las urgentes necesidades y los recursos disponibles en los países en desarrollo.

CONCLUSIONES

Los materiales han surgido como un componente de la tecnología de base científica, con un alto coeficiente de conocimientos, genérico y portador de oportunidades y del que depende cada vez más el progreso en la mayoría de los demás ámbitos. Las empresas, las industrias y los países deben desarrollar una masa crítica de datos y experiencia en ciencia de los materiales, capacidades técnicas e infraestructuras, e intentar concretar de manera sistemática las prioridades definidas en materia de I+D. Esto les permitirá realizar plenamente las posibilidades que ofrecen las nuevas estrategias industriales y de materiales a largo plazo, coordinadas e integradas, y brindarles el respaldo adecuado en infraestructura científica, tecnológica y de información, así como en programas de enseñanza y perfeccionamiento pertinentes.

La investigación reciente pone de manifiesto que los gobiernos, las universidades y la industria interactúan en diversas etapas del proceso de innovación. Los vínculos dentro de la infraestructura nacional entre el mundo científico y la industria, así como entre grupos de empresas y el público, pueden ser cruciales para el éxito de las empresas e industrias nacionales en el competitivo mercado mundial. Las empresas bien afianzadas en una infraestructura científica y de información nacional o regional pueden obtener ventajas acumulativas en determinadas tecnologías e industrias. Esto lleva a inferir que la infraestructura nacional de ciencia, medición y ensayo de los materiales se está convirtiendo en un elemento fundamental para la organización de la I+D y para la comercialización de la tecnolo-

gía de vanguardia en todo el tejido industrial. Inversamente, la promoción de ciencia y tecnología nacional de alto nivel y de canales de información de gran velocidad, que facilitan la investigación y la innovación, puede actuar como un imán para atraer inversiones extranjeras directas y localizar las actividades de producción, de I+D y de diseño en centros nacionales, acumulando así las ventajas para las respectivas economías nacionales.

Un problema importante del próximo siglo será la división internacional del trabajo y su incidencia en las economías recientemente industrializadas y, también, el gran número de países que se encontrarán en etapas de desarrollo diferentes. Los progresos en ciencia y tecnología están dejando de lado a países, regiones y continentes enteros. Esta marginación probablemente aumentará si no se da prioridad absoluta al desarrollo de la enseñanza y los conocimientos científicos y tecnológicos y a la creación de la tecnología y la infraestructura de comunicaciones adecuadas en muchas naciones, que corren el peligro de encontrarse aún más excluidas de la economía mundial en el siglo XXI que en la actualidad. Muchos encargados de formular políticas nacionales e internacionales considerarán quizá que se exagera la situación esbozada en este capítulo y la hallarán demasiado lejana o poco pertinente para las necesidades del desarrollo. Pero esa visión sería peligrosa y errónea. Los países en desarrollo deben participar y compartir los beneficios derivados del espectacular progreso de la base científica de las tecnologías utilizadas en los materiales, las ciencias biológicas, la agricultura y la información, y que pueden ahora orientarse hacia la satisfacción de una multiplicidad de necesidades básicas y objetivos de crecimiento de dichas naciones.

Lakis Kaounides estudió ingeniería, comercio y economía en las Universidades de Birmingham y Essex (Reino Unido). Tras pasar un periodo como investigador en Oxford y en el Institute of Development Studies (IDS) de la Universidad de Sussex, fue profesor en varias instituciones en Londres. En la actualidad, es profesor de Economía en la City University Business School de Londres.

El señor Kaounides es una autoridad internacional reconocida en economía mineral y en la función de los materiales avanzados en estrategias comerciales, ventaja competitiva mundial, comercio y desarrollo en las industrias manufactureras y de alta tecnología. Es consultor principal en la ONUDI, Viena, en los ámbitos de las ciencias y tecnologías nuevas y en tecnología y estrategias de industrialización para las economías en desarrollo y las economías recientemente industrializadas. Además, fue consultor en la Economist Intelligence Unit de Londres y en varias otras organizaciones internacionales, investigador residente en la Universidad de Siena (Italia) y profesor invitado en el IDS de la Universidad de Sussex. En la actualidad trabaja en diversas estrategias nacionales y empresariales en tecnología de materiales avanzados para el *Financial Times* de Londres.

BIBLIOGRAFÍA

- Kaounides, L. C. (1995a). *Advanced materials in high technology and world class manufacturing*. Advanced Materials Technology Series 1. Viena. ONUDI.
- (1995b). *Advanced materials: Corporate Strategies for Competitive Advantage*, London: *Financial Times*, Newsletters & Management Reports.
- Kaounides, L. C. y Muchie, M. (Editor) *The Materials Revolution and Developing Economies* (1996) (próxima publicación).
- US Bureau of Mines (1990-1991). *The New Materials Society*, 3 vols., Washington DC.
- US National Research Council (1989). *Materials Science and Engineering for the 1990s*, Washington DC, National Academy Press.

3

EL LUGAR DE LAS MUJERES EN LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

SANDRA HARDING Y ELIZABETH MCGREGOR

Marco conceptual

SANDRA HARDING Y ELIZABETH MCGREGOR

La especificidad de los sexos en la ciencia y la tecnología se refiere a las formas en que las diferencias de origen cultural entre los hombres y las mujeres interactúan con prácticas científicas y tecnológicas históricamente y socialmente diferenciadas, y a las respectivas consecuencias. Las culturas y las prácticas científicas y tecnológicas configuran las relaciones sociales entre los sexos y a su vez son condicionadas por éstas (Collins, 1991¹; Connell, 1985; Cook y Fonow, 1991; Harding, 1986, 1987, 1991; Harding y O'Barr, 1987; Lorber y Farrell, 1991; Zukerman *et al.* 1991). Las relaciones entre hombres y mujeres así como los cambios científicos y tecnológicos contribuyen a su respectiva evolución histórica. Por ejemplo, los proyectos científicos y tecnológicos son generados por lo que una cultura o los patrocinadores de proyectos científicos consideran interesante, es decir, por lo que quieren saber acerca de la naturaleza.

En la medida en que hombres y mujeres tengan intereses diferentes, en que quieran saber diferentes cosas acerca del funcionamiento de la naturaleza, se plantearán diferentes preguntas y generarán diferentes proyectos científicos, los que, como todos los demás, pueden ser llevados a cabo por mujeres y hombres. Nuestro marco conceptual aprovecha aquí los resultados de dos décadas de estudio de las relaciones entre los sexos y por lo menos tres de historia y sociología de las ciencias y la tecnología en el Norte y el Sur. Se pueden resumir brevemente dos temas centrales de este trabajo que son importantes para comprender cómo interactúan las relaciones de género con las instituciones y los proyectos científicos y tecnológicos.

DIFERENCIAS ENTRE HOMBRES Y MUJERES

Aunque hombres y mujeres son biológicamente diferentes entre sí, se parecen mucho más de lo que la cultura popular nos haría pensar. Pero la manera en que unos y otras conciben las diferencias biológicas y se distribuyen las actividades sociales sobre la base de lo que perciben

como tales diferencias, y las distintas incidencias que los proyectos científicos y tecnológicos tienen sobre las mujeres y los hombres, son diferentes de una cultura a otra. Este aspecto de las relaciones entre hombres y mujeres es de orden social. Con mucha frecuencia se supone que la expresión «relaciones entre los sexos» es una forma de referirse a las mujeres o a la distribución de las mujeres y los hombres por ejemplo en las universidades, en las ciencias o en otras entidades sociales. Sin embargo, este uso oculta otros aspectos importantes de esas relaciones tales como el significado social de la masculinidad y la feminidad y, lo que es más importante, las formas en que los intereses y los valores culturalmente diferentes de hombres y mujeres estructuran actividades sociales, organizaciones y proyectos, incluyendo los científicos y los tecnológicos.

Las mujeres y los hombres tienden a tener por lo menos algunas interacciones distintivas con la naturaleza en razón de sus diferencias biológicas, pero también porque la sociedad les asigna diferentes funciones y actividades sociales y, por tanto, tienen diferentes intereses, necesidades y esperanzas respecto de las leyes de la naturaleza y los recursos y los peligros derivados de ellas. Además, hay indicios de que las mujeres organizan los laboratorios y otros proyectos de trabajo en formas algo diferentes de las de sus colegas masculinos. Y es evidente que la manera de organizar un proyecto científico tiene repercusiones en los conocimientos que se obtienen acerca de los procesos naturales. A este respecto abundan los estudios sobre la composición por sexo de las organizaciones (Acker, 1992; Kanter, 1977; Mills y Tancred, 1991).

Por lo tanto, las interacciones distintivas de los sexos con respecto a la naturaleza son consolidadas por las diferencias biológicas, de presuposiciones e intereses sociales y de organización de la producción de conocimientos. Por estas razones, los cambios científicos y tecnológicos tendrán efectos diferentes sobre las mujeres y sobre los hombres de cualquier cultura o subcultura. Además, en la medida en que las mujeres son excluidas de la definición de la pro-

¹ Las referencias citadas en los textos que siguen se encuentran en la bibliografía, pág. 360.

blemática científica y tecnológica, lo que una cultura sepa de la naturaleza representará desproporcionadamente los intereses, las necesidades y las esperanzas de la fracción masculina de la población.

Podría ser muy esclarecedor plantearse el siguiente interrogante: ¿en qué sería diferente nuestro conocimiento de la naturaleza si se invirtieran las funciones de ambos sexos en los proyectos científicos y tecnológicos? En muchos campos de la investigación probablemente no habría ninguna diferencia, pero en muchos otros podría haberla. Sería conveniente considerar la manera en que podrían cambiar las prioridades científicas y tecnológicas y la representación de la naturaleza si los institutos nacionales de salud, los órganos de reglamentación ambiental, de política agrícola regional o los proyectos de erradicación de la pobreza fueran dirigidos por mujeres y en general si éstas fueran más numerosas en los gobiernos, los organismos de decisión en materia de política científica y las empresas multinacionales.

LA CIENCIA EN LA TECNOLOGÍA Y LA TECNOLOGÍA EN LAS CIENCIAS

Aunque a veces es fácil separar los aspectos puramente científicos de una cuestión de sus aspectos tecnológicos, esa separación frecuentemente no es útil. Los proyectos científicos se originan a menudo en necesidades sociales que han sido definidas en primer lugar como problemas tecnológicos, luego como problemas científicos, sea ésta o no la mejor manera de considerarlos. Por ejemplo, erradicar la pobreza en las sociedades desarrolladas y en desarrollo ha sido frecuentemente definido —entre otras maneras— como un problema relacionado con el exceso de población. De ello se concluye que la reducción de la pobreza exige estrategias tales como la esterilización y una mejor contracepción, lo que inicialmente necesita investigación científica.

Desde luego, hay muchas otras explicaciones razonables de la pobreza que llevan a otras soluciones que pueden o no exigir investigación científica. Por ejemplo, como reconocía el informe de la Conferencia Internacional sobre

la Población y el Desarrollo celebrada en El Cairo en 1994, ahora parece probable que la pobreza engendre exceso de población y no lo contrario, pues las familias pobres suelen considerar a los hijos como recursos económicos potenciales para aumentar el ingreso de la familia y cuidar a los padres en la enfermedad y la vejez. Además, el aumento de la educación de las mujeres parece ser la causa individual más efectiva de la disminución de los índices de natalidad.

El progreso científico frecuentemente exige o sigue el desarrollo de las técnicas de recolección de datos acerca de la naturaleza. La ciencia moderna, cuyo método experimental se basa en la manipulación de la naturaleza, es esencialmente tecnológica. Además, los conocimientos científicos adquiridos dan generalmente lugar a avances tecnológicos que eran el propósito inicial de la investigación. Tal es por ejemplo el caso, desde luego, de las ciencias médicas y ambientales. En términos más generales, la investigación básica sólo recibe una fracción mínima de los fondos destinados a la investigación científica, e inclusive la selección de los aspectos de la naturaleza que estudiará es indisoluble de las tradiciones culturales o de los intereses sociales contemporáneos. Diferentes culturas podrían perfectamente elegir otras opciones.

Por lo tanto, es conveniente conceptualizar las ciencias y las tecnologías en relación con las culturas y costumbres en las que se inscriben. No se puede comprender ni la naturaleza ni las prácticas pasadas y presentes de las ciencias y las tecnologías si no se han identificado las prácticas y las culturas elaboradas a lo largo de la historia por diferentes sociedades para aprender más acerca de los aspectos de la naturaleza que les interesaban. Por ejemplo, las metáforas y los modelos mecanicistas de la naturaleza tan caros a los primeros científicos modernos europeos tenían, para ellos y la cultura a la que pertenecían, un significado de clase y de sexo. Estos significados ayudaron a configurar las pautas de la expansión europea a las que contribuyeron esas ciencias modernas. En la medida en que dichas pautas vinculan nociones ideales culturalmente localizadas de la «civilización» y la masculinidad con el éxito en el dominio de la naturaleza (y las «naturalezas» de las per-

sonas), siguen obstaculizando la adopción de políticas más racionales de gestión del medio ambiente y de las ciencias ambientales (C. Lloyd, 1984; Merchant, 1980; Seager, 1993; Shiva, 1988). En muchos aspectos la naturaleza se asemeja sin duda a una máquina, pero no en otros. Sería por lo tanto conveniente preguntarnos cuáles son las leyes de la naturaleza y sus causas fundamentales que han sido

ocultadas u oscurecidas por la larga dependencia de este único modelo de la naturaleza.

Esta comprensión más lúcida de las relaciones entre las funciones de cada sexo y la ciencia en la sociedad nos permite explicar de manera más acertada y completa la cuestión del papel específico de los sexos en las ciencias y la tecnología.

Las ciencias, ¿en manos de quién?

ELIZABETH MCGREGOR Y SANDRA HARDING

¿Qué lugar ocupan las mujeres en la ciencia y la tecnología en 1996? ¿Las mujeres adquieren formación en estas disciplinas, obtienen títulos, consiguen empleos y logran ascensos en una proporción equivalente a los hombres? La información que permite responder a estas preguntas es escasa, fragmentada y difícil de evaluar, aunque es obvio que en la mayor parte de los países las mujeres están menoscabadas en todos esos aspectos. ¿Hay mujeres especializadas en ciencia y tecnología que participen en grupos de asesoramiento y decisión regionales, nacionales e internacionales? En este caso resulta sencillo, incluso para un observador casual, comprobar que la presencia femenina es insignificante en casi todos estos grupos.

El verdadero alcance de esta representación insuficiente sigue siendo difícil de percibir dada la ausencia de datos completos y comparables. Hasta que se preste la debida atención al acopio sistemático de datos desglosados por sexo a nivel institucional, nacional e internacional, las cuestiones relativas a la disparidad entre hombres y mujeres seguirán siendo invisibles a los ojos de los especialistas en ciencia y tecnología.

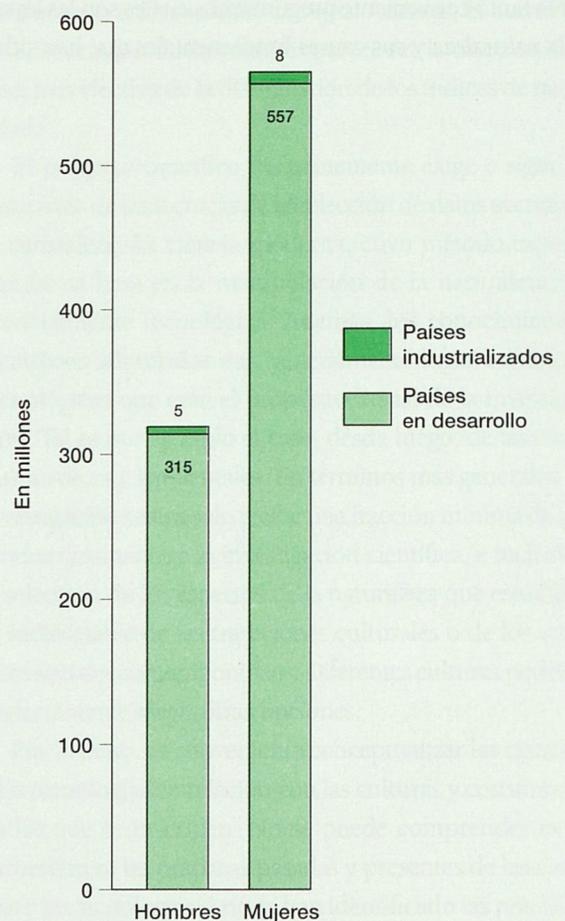
AL MARGEN DEL SISTEMA EDUCATIVO FORMAL: ACCESO A LA ESCUELA Y ALFABETIZACIÓN

Desde el inicio de sus vidas, las niñas son víctimas de la desigualdad de oportunidades en la educación debido a obstáculos socioeconómicos y culturales. Sólo aquellas que consigan superar estas barreras iniciales podrán ingresar a la escuela y ser parte del semillero de talentos de donde surgen los científicos.

Evidentemente, la desigualdad entre hombres y mujeres frente a la educación científica y técnica comienza mucho antes del ingreso en el sistema escolar formal. De acuerdo con los informes del UNICEF, en los países en desarrollo, entre el 30 y el 50 % de los menores, de los cuales la mayoría son niñas, nunca llegan al sistema escolar formal. Más de 100 millones de niños en edad escolar quedan excluidos del sistema educativo, entre ellos 60 millones de niñas. En el Gráfico 1 se observa que casi dos

GRÁFICO 1
NÚMERO ESTIMADO DE ANALFABETOS
MAYORES DE 15 AÑOS EN 1995

Todo el mundo 885



Fuente: *Notas Estadísticas*, octubre de 1994, STE-16, Cuadro 3.

terceras partes de los analfabetos del mundo son mujeres, y el Gráfico 2 indica que en las escuelas de muchas partes del mundo se da preferencia a los varones en la selección de ingreso.

Las mujeres excluidas de la alfabetización y de la educación científica general que se imparte en las escuelas tie-

nen pocas posibilidades de acceso a la información y al conocimiento necesarios para adoptar decisiones, con pleno conocimiento de causa, sobre las cuestiones científicas y tecnológicas de la vida tanto pública como cotidiana.

Estas realidades destacan la necesidad urgente de que los responsables políticos establezcan programas específicos de alfabetización para todos tendientes a eliminar las diferencias entre hombres y mujeres.

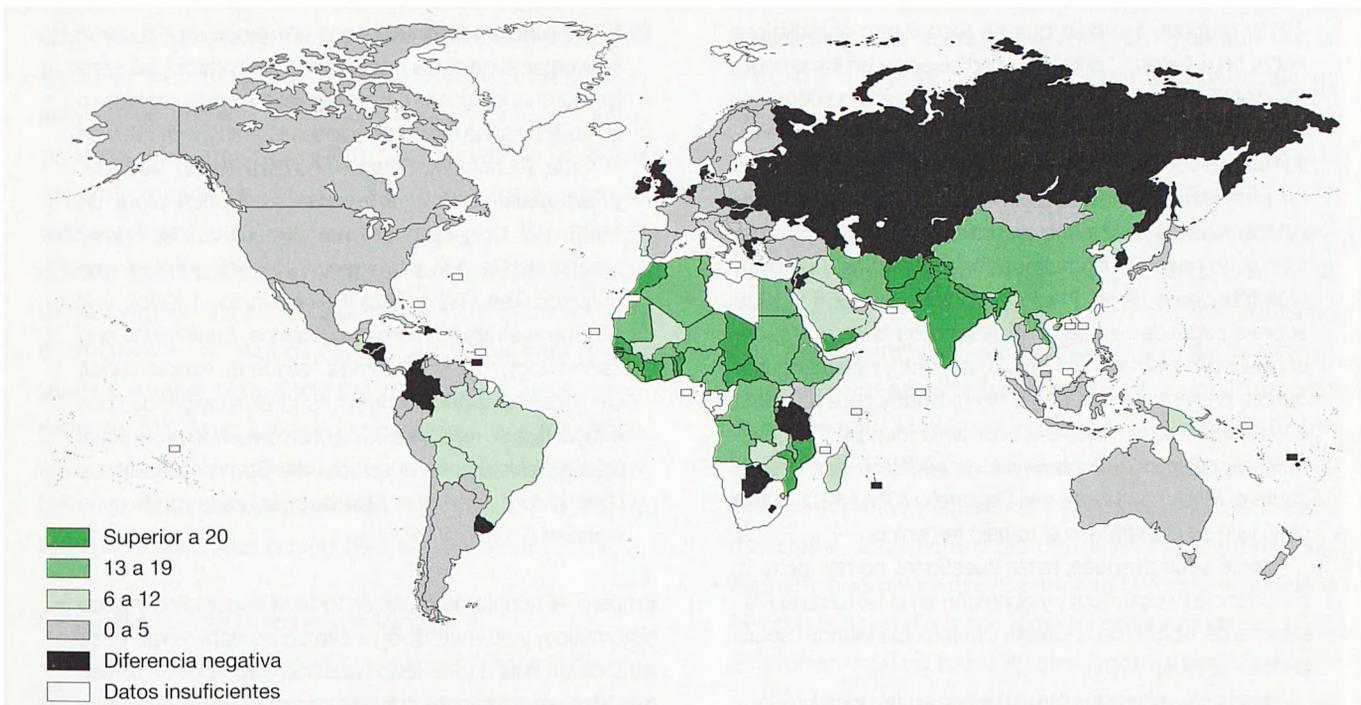
Promover la enseñanza científica y tecnológica mediante la educación informal

Los gobiernos tienen la obligación de garantizar la educación básica para todos, pero de esforzarse también por llegar hasta quienes están excluidos del sistema educativo

apoyando la enseñanza científica y tecnológica en el sector informal y prestando especial atención a las mujeres, por medio de las organizaciones tanto gubernamentales como no gubernamentales. En 1993, la declaración del Foro Internacional para una Alfabetización en Ciencia y Tecnología para Todos (Proyecto 2000+), organizado por la UNESCO junto con otras organizaciones (en particular la Federación Internacional de Asociaciones de Profesores de Ciencias), pidió que se crease un programa para desarrollar la cooperación regional y subregional entre los países, con el objeto de concentrarse en la enseñanza básica de la ciencia y la tecnología para todos, particularmente en favor de las niñas (UNESCO, 1993). En 1993, la reunión del Grupo de Estudio organizada por el Fondo de Desarrollo de las Naciones Unidas para la Mujer (UNIFEM) publicó un informe titulado «Women, Science and Tech-

**GRÁFICO 2
DIFERENCIAS EN LA ESCOLARIZACIÓN PRIMARIA DE NIÑAS Y VARONES**

Diferencia porcentual en el número de matriculados en 1990



Nota: En este mapa, la diferencia entre los sexos se define como el porcentaje bruto de varones matriculados en el ciclo primario menos el de niñas.

Fuente: UNICEF, UNESCO y OMS en World Resources Institute, *World Resources 1994-95*, New York/Oxford, Oxford University Press.

Sin datos no hay diagnóstico, sin diagnóstico no hay prioridades

La forma en que se obtienen generalmente los datos sobre ciencia y tecnología hace que las cuestiones relativas a la mujer pasen prácticamente desapercibidas. Al menos dos tipos de datos son fundamentales para las autoridades: aquéllos correspondientes a los índices de participación femenina en la enseñanza científica (por disciplina), en las carreras de ciencia y tecnología así como en los mecanismos de decisión, y aquéllos referidos a las consecuencias de esa diferencia para la vida de los hombres y las mujeres. Más aún, en los últimos dos decenios no han escaseado las recomendaciones que pedían el acopio sistemático de datos desglosados por sexo. En 1975, el Plan de acción mundial para la consecución de los objetivos del Año Internacional de la Mujer y las tres conferencias de las Naciones Unidas sobre la mujer (Ciudad de México, 1975; Copenhague, 1980; y Nairobi, 1985) recomendaron que se reforzara la coordinación y la coherencia a nivel nacional e internacional para el acopio de estadísticas sobre la mujer. La Conferencia General de la UNESCO, en su vigésima reunión de 1978, propuso también que se recopilaran estadísticas sobre la mujer en cuanto a su participación en los proyectos científicos y técnicos y también en materia de personal. La Conferencia Mundial sobre Reforma Agraria y Desarrollo Rural (FAO, 1979) pidió a los gobiernos que examinasen los procedimientos de obtención y presentación de datos estadísticos de modo que permitiesen determinar la función de la mujer en las actividades productivas. Los estudios mundiales de las Naciones Unidas de 1986 y 1989 sobre el papel de la mujer en el desarrollo y el *Informe sobre el Desarrollo Humano* del PNUD, de 1990, recomendaron que se presentasen los datos desglosados para reflejar la contribución de la mujer a la economía mundial y al desarrollo. Asimismo la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD, 1992) pidió que se cuantificase el trabajo femenino.

Veinte años después, estas cuestiones no han perdido importancia ni actualidad, y aparecen en el texto de la Plataforma de Acción de la Cuarta Conferencia Mundial sobre la Mujer (Beijing, 1995).

Pese a los reiterados llamamientos en favor de la adopción de medidas concretas, los datos desglosados son

todavía escasos. Sin embargo, merecen mención algunos intentos por obtenerlos:

- **En el plano internacional**, el *Anuario Estadístico de la UNESCO* sigue siendo la principal fuente de datos específicos por países sobre el número de niñas matriculadas en las escuelas, y habría que reforzarlo. En 1986, la División de Estadística de las Naciones Unidas incluyó la ciencia y la tecnología en su «Compendium of Statistics and Indicators on the Situation of Women». La División dedica una sección a la mujer en la ciencia y la tecnología en la edición de 1995 de la «Situación de la mujer en el mundo».
- **En el plano regional**, se celebraron recientemente tres seminarios en Asia (*Mainstreaming Women in Science and Technology*, 1993), África (*Science in Africa: Women leading from Strength*, 1993) y Europa (*Women in Science*, Comunidad Europea, 1993) que aportaron datos sobre los índices de participación de la mujer en la ciencia y la tecnología.
- **En el plano nacional**, varios gobiernos se ocuparon activamente de estas cuestiones y elaboraron una serie de recomendaciones para crear «entornos favorables» a la mujer (véanse las publicaciones *Winning with Women in Trade, Technology, Science and Engineering*, de 1993, y *Participation of Women in Science and Technology*, de 1988, del Consejo Nacional Consultivo del Primer Ministro del Canadá sobre ciencia y tecnología; el informe británico *The Rising Tide* (Reino Unido, 1993b); y el informe australiano *Women in Science, Engineering and Technology*, 1994. Además, algunas asociaciones científicas han analizado las cuestiones relacionadas con el lugar que se reserva a la mujer en el mundo profesional (véase por ejemplo, el estudio del Comité canadiense [1992] *More Than Just Numbers*, sobre la mujer en la ingeniería).

Empero, el acopio de datos es todavía esporádico y poco sistemático, y su metodología carece de coherencia pues varía de un país a otro. Esta situación exige que se tomen medidas urgentes para corregirla en el nivel institucional y en los planos nacional e internacional.

nology: *New Visions for the 21st Century*», en el que instaba a los gobiernos a promover programas para reorganizar la presentación de los conocimientos científicos y tecnológicos y ponerlos a disposición de las mujeres a todos los niveles de la sociedad (UNIFEM, 1993a).

Los países en desarrollo que participaron en un seminario sobre los obstáculos con que tropiezan las mujeres de los países en desarrollo al ingresar en las profesiones científicas y tecnológicas, organizado en 1994 en Washington por el National Research Council Board of Science and Technology in International Development (BOSTID), dijeron que un elemento importante de la estrategia consistía en hacer hincapié en la formación técnica y práctica de la mujer. En el seminario se insistió en que la educación informal concediera mayor importancia a la capacitación técnica necesaria para que las mujeres pudieran ejercer actividades remuneradas basadas en las ciencias (BOSTID, 1994).

Entre los ejemplos creativos de iniciativas en el sector informal figura la exposición itinerante sobre ciencia y tecnología «Roadshow» en Botswana. Este proyecto recibió el apoyo del programa de educación de la Secretaría de los Países de la Commonwealth y de la UNESCO, así como el auspicio de embajadas, empresas locales, escuelas y agrupaciones. Los camiones visitaron las ciudades y las aldeas trayendo bibliotecas con material de referencia y presentando vídeos sobre imágenes positivas para la mujer. Se celebraron talleres para capacitar a las mujeres del lugar en técnica y mecánica y se concibieron un logotipo y un lema destinados a los medios de comunicación para que el público tomase conciencia del problema. Otro ejemplo proviene de China, donde la Federación Nacional de Mujeres coordinó una campaña quinquenal en todo el país para brindar alfabetización y formación técnica a millones de mujeres de las zonas rurales (GWG-UNCSTD, 1995b).

Sistemas de conocimientos locales

Los conocimientos autóctonos y nacionales y su especificidad en cuanto a los sexos son una importante cuestión que queda excluida del sistema científico institucionalizado. Estos saberes, producidos y transmitidos por las

sociedades durante generaciones en función de las condiciones, las necesidades y las prioridades locales, constituyen un sistema específico de conocimientos teóricos y prácticos que a menudo difieren según el sexo (Hill y Appleton, 1994). En particular, las mujeres detentan y transmiten el saber relativo a las prácticas agroforestales, la diversidad vegetal y animal, la cría de animales, la medicina, las técnicas de cosecha y transformación de los alimentos así como las estrategias de gestión integrada de los recursos. Aun así, en la mayor parte de los casos, las iniciativas de desarrollo se concentraron en incorporar enfoques científicos «modernos» y tecnologías a las políticas y programas de desarrollo (GWG-UNCSTD, 1995a).

La reunión del Grupo de Expertos del UNIFEM dedicada a los problemas de la ciencia y la tecnología en relación con el sexo reflexionó sobre el interés de los sistemas de conocimientos locales y señaló que las políticas debían prestar atención a la necesidad de reconocer y proteger adecuadamente dichos sistemas y su especificidad según los sexos. «A pesar de que la mayor parte de las mujeres utiliza la ciencia y la tecnología en su vida cotidiana, se las considera (y ellas mismas se consideran) ignorantes en la materia. Cuando se reconoce el valor del conocimiento técnico local, las comunidades, y sobre todo las mujeres, carecen de las técnicas de negociación necesarias para evitar ser objeto de explotación.» (UNIFEM, 1993a.)

Las culturas que ignoran o restan valor a esos otros sistemas de conocimientos y a la contribución de la mujer al cambio científico y tecnológico se privan de una riquísima fuente de experiencia y comprensión y generan así innecesariamente una ignorancia sistemática que va en detrimento de cada uno de los miembros de esa cultura. El Grupo de Expertos del UNIFEM recomendó que se pusiera de relieve la función de la mujer en las tecnologías relativas al ciclo tradicional de alimentos para promover la seguridad alimentaria hogareña y que se estudiara la combinación de la ciencia tradicional y la moderna en contextos comerciales. El informe del Grupo de Expertos recomendó además que se elaborasen mecanismos para poner en contacto a las científicas con las mujeres de las zonas rurales (siguiendo el ejemplo de la Asociación de Científicas de Ghana).

DENTRO DEL SISTEMA FORMAL REINA UN CLIMA INHÓSPITO

En la comunidad científica y tecnológica la mujer tropieza con una serie de obstáculos visibles e invisibles que, al acumularse, crean un clima hostil y un entorno poco grato. Estas barreras impiden la participación plena e igualitaria de la mujer en las ciencias y tienen un efecto disuasivo que la aleja cada vez más de la enseñanza superior y de las profesiones científicas. Las mujeres de los grupos minoritarios se enfrentan a una discriminación y a un desaliento aún mayores (Sandler, 1986). Las discriminaciones sociales, raciales y étnicas constituyen obstáculos adicionales que impiden a las minorías femeninas ingresar en las carreras de ciencia y tecnología o permanecer en ellas y obtener ascensos.

Todo comienza en casa

En el hogar, las actitudes de los padres pueden influir sobre las opciones que sus hijos elijan y socavar, sin quererlo, la confianza y las aspiraciones de las niñas así como la imagen que tienen de sí. Los estereotipos sociales, que los padres transmiten a sus hijas, las incitan a evitar la formación técnica o las disciplinas científicas porque no corresponden a la imagen tradicional de la mujer, alejándolas así de las ciencias. Además, la decisión de los padres de dar estudios sólo a los varones o de inducir a sus hijas a casarse jóvenes y procrear puede comprometer seriamente las oportunidades de las niñas de emprender y proseguir sus estudios.

En el sistema educativo

En la escuela, los prejuicios y el comportamiento de los docentes pueden incidir en forma negativa en la confianza que las niñas tienen en sí mismas así como en su ulterior desempeño. Esos prejuicios pueden llevar al maestro a esperar resultados diferentes de sus alumnas.

Pamela Fraser-Abder describe este trato diferente basado en las expectativas del docente, el «síndrome de Pigmalión», que a su vez afecta el rendimiento escolar, en un libro titulado *Missing links: Gender in science and technology* (GWG-UNCSTD, 1995a).

Más aún, se ha demostrado que la evaluación del docente varía de acuerdo con el nombre, femenino o masculino, que aparece en la hoja de examen. En estudios similares en los que se pidió a directores de cátedra que clasificaran a los postulantes al puesto de profesor adjunto, se observó que la nota era muy inferior cuando la misma solicitud llevaba un nombre de mujer en vez de uno de hombre (Hall, 1982).

Un lenguaje que favorece la exclusión en los manuales y los libros, reforzado con ilustraciones que insisten casi exclusivamente en el papel de los hombres en la ciencia, sirve para proyectar y perpetuar imágenes estereotipadas y actitudes injustas. Un documento del Banco Mundial sobre el acceso de la mujer a la educación superior (*Women's access to higher education*) observó que el contenido y la práctica de la ciencia y la tecnología proyectan una imagen masculina no sólo porque los hombres siguen dominando en este ámbito sino también porque dominan el lenguaje y las imágenes que se reproducen en las publicaciones científicas (DePietro-Jurand, 1994).

Los programas de estudios científicos reflejan también prejuicios similares tanto en su contenido como en sus objetivos. Es importante que la ciencia y la tecnología que se enseña en las aulas se ponga en relación con las experiencias de la vida cotidiana y las cuestiones de interés para las alumnas, especialmente en las zonas rurales de los países en desarrollo donde las funciones y responsabilidades de las niñas y mujeres difieren mucho de las de los muchachos y hombres. Las mujeres desempeñan un papel clave en la gestión de los recursos naturales y la agrosilvicultura y a menudo son las únicas responsables de la producción de alimentos necesaria para la subsistencia del hogar así como de la seguridad alimentaria de la familia. Su responsabilidad abarca también la salud de tres generaciones. Sus centros de interés, sus preocupaciones y sus problemas médicos suelen ser diferentes de los masculinos. ¿Debemos sorprendernos si las niñas y mujeres se muestran menos entusiastas por ingresar y permanecer en las carreras científicas cuando las cuestiones que les preocupan y se relacionan con sus experiencias cotidianas siguen estando ausentes de las mismas?

En la comunidad científica y las universidades, la investigación sobre el lugar de la mujer en las ciencias sólo ha comenzado a manifestarse recientemente como una actividad legítima. En los medios académicos, los comités que deciden la titularización de los profesores a menudo deni-

gran la investigación sobre las preocupaciones femeninas, las publicaciones en revistas de estudios sobre la mujer, los logros reconocidos por las organizaciones científicas femeninas o las becas para trabajos que utilizan metodología y paradigmas poco ortodoxos. Las científicas todavía no reci-

«Sobre el terreno»

Investigación mundial sobre las innovaciones técnicas realizadas por mujeres y los sistemas de conocimientos nacionales

A nivel internacional, una serie de estudios sobre el terreno han destacado la dimensión femenina de los sistemas de conocimientos locales.

- Una edición especial de *Indigenous Knowledge & Development Monitor* (diciembre de 1994) se dedicó al tema de la mujer y los sistemas de conocimientos locales (Fax: 31-70-4260329, Países Bajos).
- **Do it herself**, un proyecto coordinado por Intermediate Technology Development Group (ITDG), realizó una investigación en cuatro continentes para determinar y reforzar la contribución de la mujer a la innovación técnica en el nivel comunitario (Fax: 44-1788-540270, Reino Unido).
- **WedNet**, con el apoyo del Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID) del Canadá, realizó una investigación a fondo sobre los conocimientos locales de las mujeres en materia de gestión de recursos naturales en África y está ampliando su investigación a Asia (Fax: 254-2-562175, Kenya).
- **From the Ground Up**, un estudio sobre África Subsahariana y América Latina que parte del supuesto de que, aun cuando en los países en desarrollo existen graves problemas ambientales, también hay numerosos ejemplos en los efectivos esfuerzos en favor de sistemas de origen local y rural de gestión de recursos. El proyecto se propone identificar las comunidades que se encuentran en un proceso de desarrollo autónomo y respetuoso del medio ambiente y analizar los motivos de

su éxito para que aprovechen a otras comunidades. El World Resources Institute estudia el carácter específico de los conocimientos de hombres y mujeres en una serie de monografías (Fax: 1-202-638-0036, Estados Unidos de América).

- **ECOGEN**, coordinado por la Clark University y el World Resources Institute en Asia, África y América Latina, procura también conocer las funciones asignadas a hombres y mujeres en la gestión de los recursos naturales. (Fax: 1-508-793-7201, Estados Unidos de América).
- **Our Hands - Our History** es un estudio mundial sobre el terreno mediante el cual la Asociación Mundial Veterinaria junto con el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), la FAO y el UNIFEM, investigan los sistemas de conocimientos femeninos relativos a la salud animal y los sistemas de cultivos en África, Asia y América Latina. La guía adjunta, *Indigenous and Local Community Knowledge Systems in Animal Health and Production System - Gender Perspectives*, contiene los temas clave en materia de políticas, una reseña bibliográfica de los documentos oficiales de las Naciones Unidas y un anuario de las redes mundiales. (Fax: 1-613-594-5946, Canadá).
- **Bean Breeders in Rwanda** es un proyecto del Grupo Consultivo sobre Investigación Agrícola Internacional (GCIAI) que rompe los esquemas convencionales de las relaciones entre los centros de investigación agrícola y los agricultores, pues trabaja específicamente con mujeres y ensaya variedades mejoradas de frijoles en colaboración con campesinas que actúan en calidad de expertas locales en cultivos (Fax: 1-202-334-8750, Estados Unidos de América).

ben una justa compensación por el considerable esfuerzo que representa para ellas cumplir funciones de modelo de identificación y de mentor. Más aún, con frecuencia se les pide que expresen el punto de vista de las mujeres o el de mujeres de una minoría, en lugar de expresar sus propias opiniones profesionales. Y cuando lo hacen, a menudo se concede menos importancia a sus puntos de vista. Considerando estos aspectos en su conjunto se pone de manifiesto la paradoja de recibir «un exceso de atención y al mismo tiempo una atención insuficiente» (AAC, 1986).

En el ámbito del desarrollo y la transferencia de ciencia y tecnología

Esta discriminación en la asignación de fondos que da preferencia a las cuestiones de interés y pertinencia para los hombres sigue manifestándose en muchos casos más allá del programa de estudios y afecta las prioridades públicas de investigación y el desarrollo de la ciencia y la tecnología. Las cuestiones relativas a las diferencias de trato entre el hombre y la mujer en la ciencia y la tecnología no son aún un tema que aborden sistemáticamente los gobiernos y las instituciones de investigación; se establecen prioridades y se asignan recursos sin prestar la debida atención a este aspecto. Éste fue uno de los resultados del trabajo del Grupo de Estudio sobre las repercusiones de la ciencia y la tecnología sobre las cuestiones relacionadas con el sexo (GWG) de la Comisión de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, cuya conclusión fue que en materia de desarrollo la mayor parte de los cambios técnicos se orientan hacia las tareas que desempeñan los hombres y a sus intereses y sus necesidades. Las organizaciones populares también hicieron hincapié en ese eslabón faltante entre las necesidades y los intereses de la mujer, por un lado, y las prioridades de la ciencia y la tecnología, por el otro.

En el lugar de trabajo

En el lugar de trabajo, una serie de obstáculos y comportamientos, tanto manifiestos como ocultos, se oponen a que las mujeres emprendan una carrera o que permanezcan o se destaquen en ella. En la bibliografía sobre el tema se habla de «microdesigualdades», o sea, comportamientos

de exclusión generalmente tan insignificantes que pasan desapercibidos pero que, al acumularse, crean un clima hostil que disuade a las muchachas y mujeres de ingresar en las carreras científicas y tecnológicas o de permanecer en ellas. «Las microdesigualdades pueden definirse en conjunto como los comportamientos que tienen por efecto singularizar, apartar, ignorar o descalificar de cualquier otro modo a un individuo, en función de características inmutables como el sexo, la raza o la edad... Las microdesigualdades suelen crear un entorno laboral o educacional que desaprovecha los recursos de la mujer porque hace falta tiempo y energía para ignorar este tipo de comportamientos o hacerles frente. El clima inhóspito socava la autoestima y menoscaba la moral profesional.» (AAC, 1986.)

A diferencia de los obstáculos formales, estas tradiciones y prácticas informales son menos obvias y más difíciles de reconocer. Por ejemplo, las mujeres son asignadas a los comités con menos poder, disponen de menos recursos presupuestarios, les es más difícil obtener los servicios del personal de apoyo o se las ubica en oficinas que están más lejos; carecen de acceso a las «redes de iniciados» para obtener información sobre otras instituciones y, a diferencia de los hombres, no disponen de un grupo equivalente de mentores o de modelos a quienes pedir asesoramiento y apoyo. Las actitudes pueden interferir también con las técnicas de entrevista objetivas e imparciales. A la hora de entrevistar a una mujer con miras a su contratación se suelen hacer preguntas sobre su estado civil o sobre sus proyectos matrimoniales así como sobre el número de hijos que tiene o espera tener. En cambio, muy raras veces se pregunta a los hombres sobre la incidencia que tendrá su vida familiar en su carrera.

Las formas de comunicar y de trabajar tanto de hombres como de mujeres han sido también objeto de numerosos estudios. Los hombres tienden a expresarse de un modo abstracto e impersonal, en un tono perentorio, y evitan el contacto físico. Generalmente, prefieren los intercambios competitivos, interrumpen a otros oradores (especialmente a las mujeres) y les gusta controlar el tema de la conversación haciendo amplios gestos mediante los cua-

les ocupan el espacio. Las mujeres, en cambio, utilizan estilos de comunicación más personales y afables. Tienden a mirar a sus interlocutores directamente a los ojos, durante más tiempo, y sus gestos expresan atención o sirven de aliento (AAC, 1986). Los investigadores han comenzado a estudiar la posibilidad de que algunas características de la «expresión femenina», tanto verbal como física, fomenten un clima laboral más equilibrado donde todos aportan sus ideas (Hall, 1982).

Quizás el obstáculo más conocido a la presencia de las mujeres en la ciencia y la tecnología –y en otros ámbitos– es la dificultad de conciliar la vida profesional con las responsabilidades familiares. Las mujeres que conceden prioridad a la maternidad y a la crianza de los hijos en momentos críticos para el futuro de su carrera o para su ascenso dentro del sistema jerárquico actual pagan las consecuencias a nivel profesional. Cuando los hombres y las mujeres no comparten por igual el cuidado de los niños y las labores domésticas, son generalmente las mujeres quienes sacrifican sus estudios y sus posibilidades profesionales por el hogar y la familia. Mientras la sociedad y las instituciones científicas y tecnológicas no reconozcan y valoren estas opciones, las mujeres perderán oportunidades de competir por becas en el extranjero o por el ejercicio de un cargo.

La disparidad en los sueldos que se pagan por el mismo trabajo constituye también una desventaja para la mujer en el ámbito científico. Varios estudios confirman que hay una auténtica diferencia de remuneraciones entre hombres y mujeres (BOSTID, 1994). En caso de traslado, la falta de apoyo para el empleo del cónyuge es otro problema que se plantea a las mujeres muy calificadas, cuyos esposos tienen generalmente estudios universitarios equivalentes, y por lo tanto tienen menos posibilidades de conseguir un nuevo empleo. Asimismo, los ascensos y las titularizaciones no parecen aumentar en la misma proporción que el número de estudiantes universitarias, lo que reduce las aspiraciones y expectativas femeninas.

Por último, uno de los factores más conocidos que propicia el clima inhóspito que reina en las profesiones científicas es el «aislamiento» femenino en un ámbito domi-

nado por los hombres. Los esfuerzos por romper ese aislamiento y brindar apoyo a sus colegas femeninas han llevado en los últimos dos decenios a la creación de varias redes regionales y mundiales (véase el recuadro sobre las organizaciones no gubernamentales). En materia de la formación técnica y profesional, una red de 16 países africanos fundó en 1978 la Commonwealth Association of Polytechnics in Africa (CAPA), que se ocupa de los temas relativos a la integración de la mujer en el proceso del desarrollo por medio de la enseñanza y la capacitación técnicas. En Canadá, la red «Women in Trades and Technology National Network», fundada en 1994, promueve y brinda asistencia para la contratación, la formación y el empleo de mujeres en oficios y ámbitos tecnológicos, productivos e industriales. El asesoramiento por medios electrónicos es otro ejemplo de la creatividad demostrada por las redes de mujeres en la ciencia y la tecnología. Systems Network es una red destinada a las estudiantes de informática que suministra información y asesoramiento sobre la carrera y les permite comunicarse entre sí (véase también el recuadro sobre los medios electrónicos).

Lo que cuesta ser la primera

¿Las mujeres podrían cambiar las cosas si participaran en las decisiones relativas a la ciencia y la tecnología? Un estudio realizado sobre la base de más de 200 entrevistas (Etzkowitz, 1993) abordó recientemente esta aparente paradoja de la masa crítica. En algunas disciplinas donde el porcentaje de profesoras alcanzó esa masa crítica (fijada en 15 %), no se produjeron los efectos esperados ni los cambios cualitativos previstos. Las entrevistas a estas mujeres que «triunfaron» en las ciencias revelan que algunas de ellas niegan la existencia de cualquier barrera discriminatoria. Los autores analizan este fenómeno y lo explican con lo que llaman una «fractura entre las generaciones y los sexos».

Parece evidente que la presión de los pares en favor del conformismo tiene profundos efectos sobre los primeros miembros de un grupo social recién admitido en el mundo laboral. Para muchas de las mujeres que ocupan hoy puestos importantes, el precio que pagaron para ser admitidas

Disparidades y tendencias en el mundo

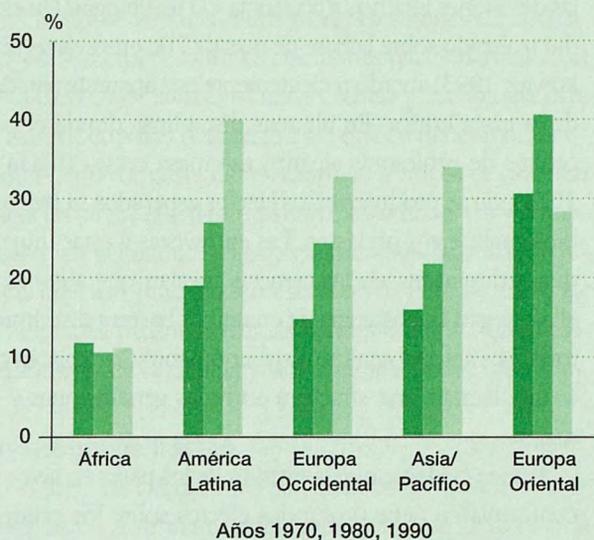
Pese a la falta de investigaciones sobre la situación de la mujer en la ciencia y la tecnología, en particular de comparaciones entre culturas, los datos disponibles revelan algunas tendencias y lagunas que pueden estimular la reflexión.

EN LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA Y EN LAS CARRERAS ACADÉMICAS

■ Existe una desigualdad entre hombres y mujeres en cuanto al acceso a la escuela y a la matrícula en las disciplinas científicas y tecnológicas, en particular a nivel universitario y en la formación profesional. Esta situación no mejora en ninguna disciplina ni en ninguna región del mundo. Como lo muestra el Gráfico 3, los países industrializados no tienen necesariamente mejores índices de participación femenina y los datos indican que se está reduciendo en los países en transición.

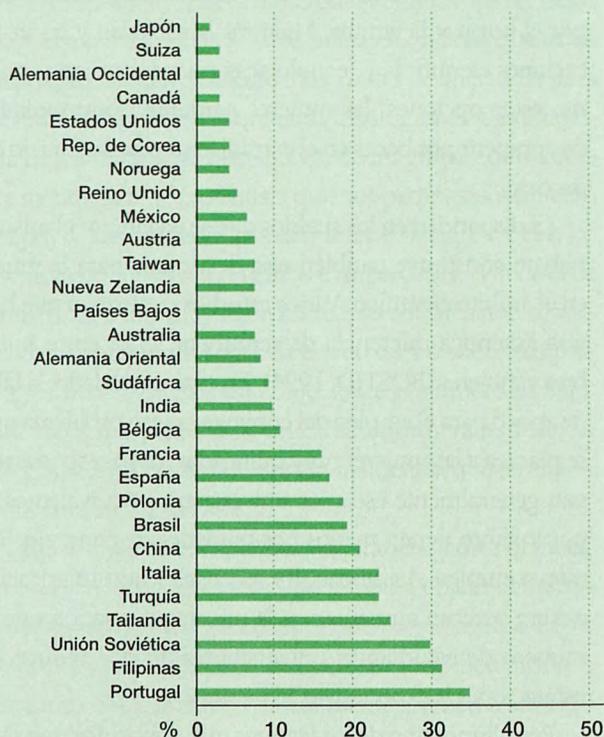
- En aquellos donde la ciencia forma parte del programa escolar básico en vez de ser una materia facultativa, el porcentaje de mujeres en las carreras científicas es más elevado.
- Existe un fenómeno de inclinación a determinadas disciplinas según el sexo de los estudiantes o de concentración de mujeres en ciertas disciplinas; la diferencia entre países industrializados y en desarrollo es relativamente pequeña.
- En la docencia universitaria el número de hombres es muy superior al de mujeres y esta disparidad se acentúa en los países de industrialización más antigua; la vía académica es muy ardua para las mujeres, pues sólo un número desproporcionadamente bajo llega a ocupar cargos.

MUJERES EN LA ENSEÑANZA SUPERIOR DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA



Fuente: GWG-UNCSTD.

PORCENTAJE DE MUJERES EN LAS FACULTADES DE FÍSICA (PAÍSES SELECCIONADOS, 1990)



Fuente: Jim Megaw (1990) en Barinaga, *Science*, vol. 263, 1994.

LAS PROFESIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

- El porcentaje de mujeres empleadas es mayor en los institutos de investigación y desarrollo gubernamentales y públicos que en el sector privado, pero en ambos casos tienen una representación baja.
- Las profesionales de disciplinas científicas y tecnológicas no son suficientes para constituir una «masa crítica» ni están representadas a un nivel clave en los gobiernos nacionales, en las Naciones Unidas o en cualquier otro organismo regional o intergubernamental.
- El acceso de las mujeres a las profesiones tradicionalmente femeninas se dificulta a medida que aumenta la importancia, la remuneración y el reconocimiento que éstas brindan, al tiempo que los hombres se incorporan a ellas. Inversamente, cuando se reduce la importancia de un sector, los hombres lo abandonan por un trabajo más lucrativo y prestigioso.
- La contratación, el ascenso y el nombramiento de mujeres en la ciencia y la tecnología aumentan menos que el número de mujeres que estudian estas disciplinas y que adquieren una cualificación profesional; por un trabajo equivalente, las mujeres reciben menos remuneración que los hombres.

EL NIVEL DE DECISIÓN EN LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

- La presencia femenina es insignificante en los organismos de decisión, los consejos consultivos de alto nivel y las universidades nacionales.
- Parece existir un «techo invisible» en los organismos de decisión en ciencia y tecnología que impide el ascenso de la mujer; mientras mayor es su nivel, menor es el número de mujeres. Este fenómeno no se explica sólo por una inferioridad numérica en este campo. El número de nombramientos no aumenta en proporción con el de candidatas con experiencia.

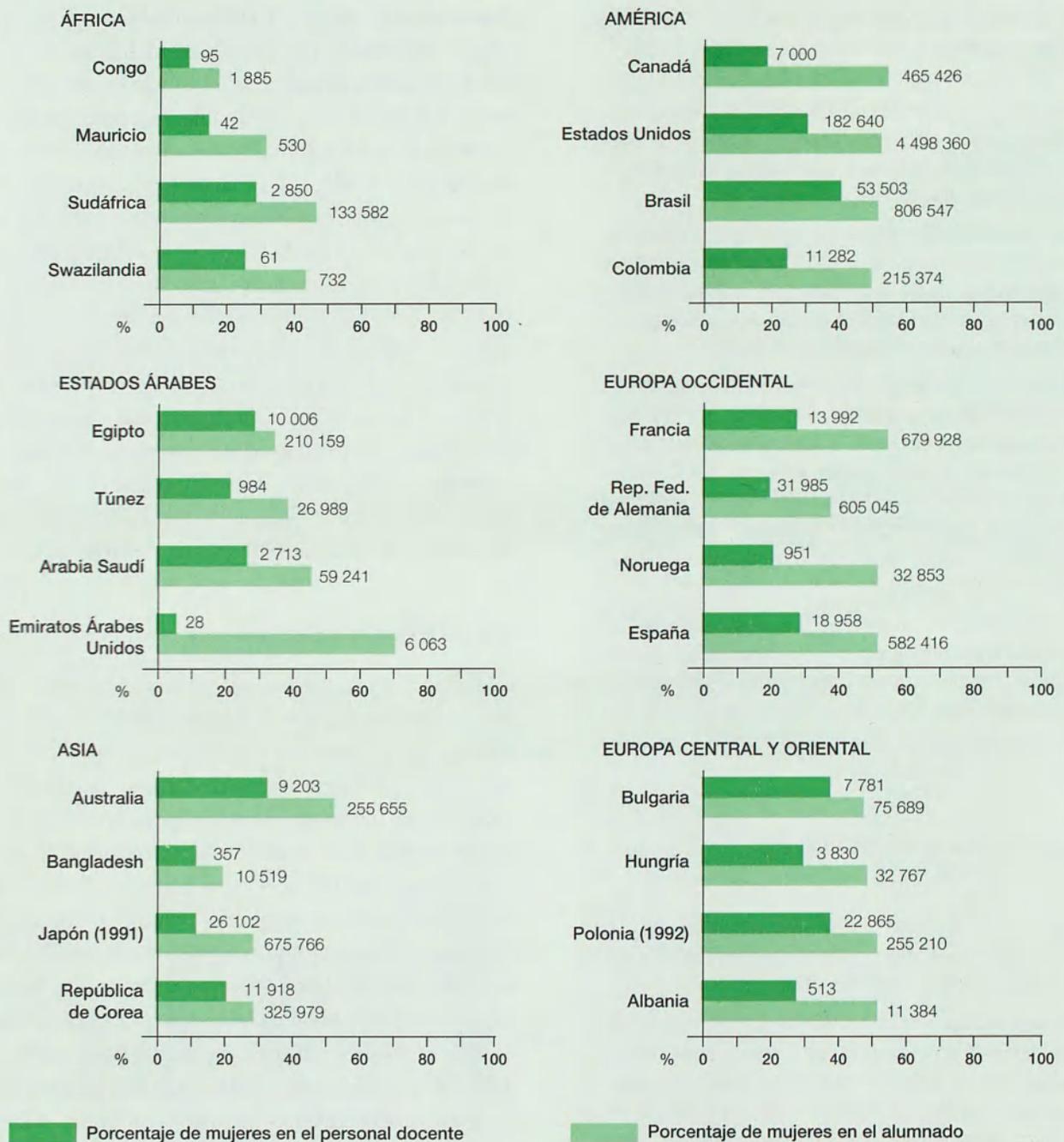
en las carreras científicas fue hacer suyos los valores y la forma de trabajar de sus colegas masculinos. Esto no significa que los modelos aceptados sean por definición malos, sino que aún se rechazan aquellos que permitirían a las mujeres (o a los hombres) jóvenes dar lo mejor de sí a la investigación científica. En el estudio en cuestión, el temor a la reprobación ajena indujo a algunas de estas mujeres con muchos años de carrera a negar la existencia de obstáculos sexistas, aún cuando se les demostrase lo contrario mediante estadísticas irrefutables. Las científicas más jóvenes se expresaron sobre los valores y métodos de trabajo deseables de una forma muy diferente a esas colegas que habían sido las primeras en ingresar en una disciplina o trabajar en ella. Estos estudios incitan a no generalizar a partir de las respuestas de unas pocas personas, o incluso de un solo grupo de la misma edad, con respecto a las preferencias generales de las científicas: en distintos momentos de sus carreras, deben las mujeres afrontar diferentes obstáculos que les impiden desarrollar plenamente su potencial y contribuir al servicio de las ciencias.

LA DESERCIÓN FEMENINA

Los esfuerzos destinados a incorporar a las mujeres a las estructuras científicas y tecnológicas se han enfrentado con el hecho de que, una vez dentro, una gran proporción de muchachas y mujeres decide abandonarlas. Esa disminución de los efectivos y la mala utilización de personal sumamente cualificado es un fenómeno extremadamente oneroso y perjudicial para la sociedad. Es sorprendente, entre otras cosas, la diferencia que existe entre el porcentaje de estudiantes universitarias y el de profesoras de todas las disciplinas (véase el Gráfico 3). Incluso en países con buena reputación en este ámbito, la participación femenina sigue siendo muy escasa; así pues, en Noruega, por ejemplo, sólo el 9 % de los docentes de la enseñanza superior son mujeres. La disparidad es aún mayor en las disciplinas científicas y tecnológicas.

¿Por qué la ciencia y la tecnología no logran atraer y retener a las mujeres muy cualificadas? Los estudios realizados en los países en desarrollo atribuyen parte de esa deser-

GRÁFICO 3
UNIVERSIDADES E INSTITUCIONES EQUIVALENTES: MUJERES DOCENTES Y ESTUDIANTES (PAÍSES SELECCIONADOS, 1990)



Nota: Las cifras que acompañan el gráfico corresponden al número real de mujeres.

Fuente: UNESCO, *Anuario Estadístico 1994*, Cuadro 3.12.

ción al condicionamiento sociocultural. Los matrimonios y embarazos precoces, o algunas prácticas económicas como la costumbre de legar la tierra a los varones, son factores que reducen la voluntad y los recursos para apoyar la escolarización de las niñas. Las pesadas responsabilidades familiares y la carga desproporcionada que representan las tareas domésticas consumen la energía de las muchachas y limitan el tiempo de que disponen para la escuela o para un trabajo reconocido y remunerativo. Todos estos factores impiden a las jóvenes estudiar en el país y en el extranjero.

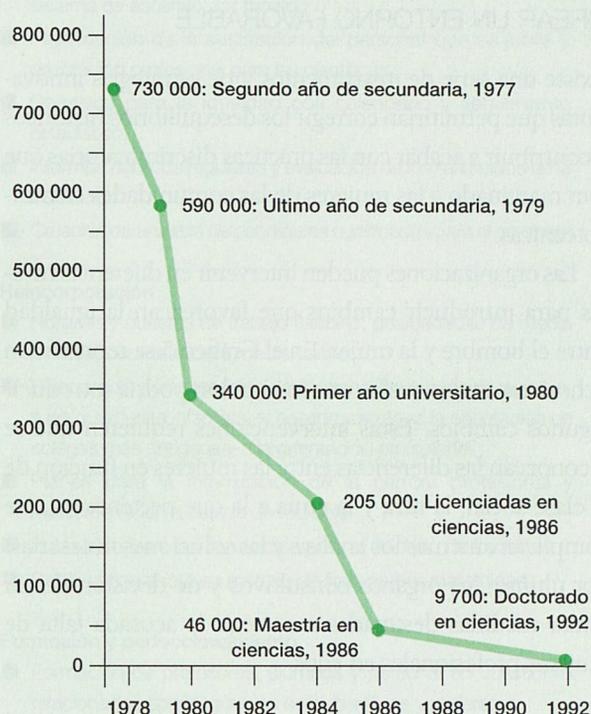
El fenómeno que lleva a las jóvenes a alejarse de las carreras científicas no se limita de ningún modo a los países en desarrollo. Un estudio realizado recientemente en los Estados Unidos ha demostrado que hay una serie de momentos clave en los que las jóvenes y mujeres abandonan las ciencias (Gráfico 4). En cada uno de ellos, el índice de deserción de las mujeres es muy superior al de los hombres.

Recientemente se ha analizado el fenómeno de este abandono progresivo de la enseñanza superior y la docencia. Unos de los estudios, dedicado a las mujeres en las ciencias neurológicas en los Estados Unidos, demostró que el 45 % de los estudiantes que ingresaban en las facultades eran mujeres. Pero aunque su número al comienzo del ciclo universitario es elevado, casi en pie de igualdad con los hombres, el índice de deserción es muy alto. Sólo el 38% de los diplomas de doctorado se entrega a mujeres; un tercio de ellas realiza estudios posdoctorales y menos del 18% ingresa en la vida profesional (Barinaga, 1992). En los Estados Unidos, la National Science Foundation estudió este fenómeno durante cierto tiempo y descubrió que a pesar de los crecientes esfuerzos realizados entre 1979 y 1989, por atraer a las jóvenes a las ciencias, el porcentaje de estudiantes que obtuvo un doctorado sólo aumentó del 21 al 28 %.

En otras palabras, las «estrategias de oferta» no son suficientes. De nada sirve aumentar el número de matriculadas si los índices de deserción no disminuyen a lo largo del ciclo educativo. No cabe duda que es preciso reformar las políticas y los programas de las instituciones científicas.

GRÁFICO 4
FASES DE DESERCIÓN DEL CICLO EDUCATIVO

Evolución de una cohorte de estudiantes de sexo femenino en ciencias exactas y naturales y en ingeniería en los Estados Unidos de América



Fuente: National Science Foundation.

Uno de los dos principios básicos planteados en el informe australiano (1994) sobre la manera de abordar las cuestiones relativas a la mujer en la ciencia y la tecnología es la «necesidad de cambiar de paradigma, esto es, dejar de preguntarse cuál es el problema de las niñas y las mujeres y tratar de comprender por qué el mundo de la ciencia, la ingeniería y la tecnología no las atrae ni consigue interesarles».

Este cambio conceptual, el paso de un modelo basado en la «deficiencia femenina» a otro donde la responsabili-

dad recae en las ciencias y la enseñanza científica, se considera cada vez más indispensable para poder dar el mismo trato a las mujeres en las disciplinas científicas y para que éstas puedan aprovechar el potencial que le ofrecen las mujeres.

CREAR UN ENTORNO FAVORABLE

Existe una serie de instrumentos y de estrategias innovadoras que permitirían corregir los desequilibrios históricos y contribuir a acabar con las prácticas discriminatorias que han marginado a las mujeres de las comunidades científicotécnicas.

Las organizaciones pueden intervenir en diferentes niveles para introducir cambios que favorezcan la igualdad entre el hombre y la mujer. En el Gráfico 5 se representan ocho áreas en las cuales una institución podría introducir algunos cambios. Estas intervenciones requieren que se reconozcan las diferencias entre las mujeres en función de la clase social, la raza y la etnia a la que pertenecen, que complican aún más los análisis y las soluciones necesarias. Por último, los órganos consultivos y de decisión deben tomar medidas destinadas a corregir la acusada falta de mujeres profesionales en ellos.

Instrumentos legislativos

La legislación ejerce una influencia considerable. Algunos gobiernos, por ejemplo el de Suecia, han dado fuerza de ley a la discriminación positiva, la cual dispone que cuando dos candidatos a un puesto presenten el mismo perfil, se ha de favorecer la candidatura del que pertenece al sexo minoritario. Otros gobiernos, como el de los Estados Unidos, han aprobado una ley sobre la igualdad de oportunidades en ciencia y tecnología. En 1988, Inglaterra y Gales aprobaron una ley de reforma educativa que introduce la ciencia como asignatura básica en la educación de los niños de 5 a 16 años. Las leyes de la igualdad de sueldos, las políticas contra el acoso sexual, las políticas progresistas para el disfrute del permiso de maternidad por cualquiera de los cónyuges o los programas de ayuda a la pareja son otros instrumentos eficaces para introducir en las organi-



zaciones y los comportamientos unos cambios que propicien un entorno no favorable tanto para las mujeres como para los hombres en la ciencia y la tecnología (Science, 263, 1994; Canadá, 1993; Reino Unido, 1993b).

Los gobiernos pueden exigir que se evalúen las repercusiones que tienen en hombres y mujeres las prioridades, productos y programas de la ciencia y la tecnología para determinar a qué intereses y necesidades sirven. También están en condiciones de asegurar el cumplimiento de las políticas de igualdad laboral entre hombres y mujeres, y pueden sujetar las subvenciones que otorgan a instituciones científicotecnológicas públicas a la aplicación de políticas y programas al respecto. La aplicación a nivel nacional de dichas políticas puede explicar hasta cierto punto que el sector público tenga más éxito que el privado en lo que se refiere a la captación y retención de las científicas profesionales. Las autoridades desempeñan un papel fundamental en el acopio sistemático de los datos dispersos sobre las mujeres en la ciencia y sobre las repercusiones de

**CUADRO 1
INSTRUMENTOS Y ESTRATEGIAS DE INTERVENCIÓN**

Evaluación del entorno laboral

- Cuestionarios para la autoevaluación de la institución.
- Evaluación del ambiente de trabajo y encuestas de seguimiento.
- Centros responsables encargados de evaluar, controlar e informar sobre la igualdad.
- Grupos de análisis de la situación en el extranjero.

Contratación

- Anuncio de los puestos y examen transparente de las candidaturas.
- Técnicas de prospección de candidatas cualificadas mediante las redes profesionales femeninas, las ONG e Internet.
- Comités de contratación y equipos de entrevistadores formados por un número proporcional de hombres y mujeres.
- Modalidades y técnicas de entrevista no sexistas.
- Objetivos de contratación de mujeres cualificadas.
- Becas destinadas a mujeres: subvenciones para la escolarización de las niñas.
- Fórmulas flexibles de becas para estudios científicos para las mujeres en el extranjero.

Permanencia en el puesto

- Apoyo de la dirección; política interna; planes de acción en favor de la igualdad.
- Políticas internas adecuadas sobre relaciones entre los sexos y contra el acoso sexual.
- Directrices internas sobre el lenguaje, las imágenes y el material visual.
- Mediadores accesibles y comités de examen de las quejas de las mujeres.
- Nombramiento de mujeres en comités con funciones importantes e influyentes.
- Apoyo institucional a las redes profesionales y al acceso a Internet.
- Reconocimiento, apoyo y recompensa a los programas de asesoramiento y de fomento de imágenes positivas de la mujer.
- Programas de apoyo para el empleo del cónyuge.
- Servicios e instalaciones en los lugares de trabajo para el cuidado de niños y ancianos.

Ascensos

- Criterios de ascenso y permanencia flexibles: reforma del sistema de ascenso por mérito.
- Planificación de la sustitución del personal que se jubila y orientación profesional para las científicas.
- Objetivos para la igualdad con calendario y seguimiento estadístico.
- Informes públicos regulares y evaluación de los resultados de la institución.
- Creación de una lista de candidatas cualificadas para el ascenso.

Reincorporación

- Horarios y puestos de trabajo flexibles, posibilidades de media jornada, contratación a media carrera.
- Reincorporación a las listas de acceso a los cursos de reciclaje, a las guarderías infantiles, al asesoramiento, a la orientación de colegas más antiguos y a la orientación profesional.
- Planes para la interrupción de la carrera profesional y reincorporación a cursos de reciclaje.
- Subvenciones a las candidatas para el cuidado de los niños.
- Política progresista en materia de licencia por maternidad.

Formación y perfeccionamiento

- Formación de profesores, alumnos y personal en cuestiones relacionadas con la igualdad entre hombres y mujeres.
- Formación pedagógica de profesores, revisión de programas de estudios, reconocimiento de las distintas maneras de proceder en la ciencia, modelos de comunicación y estilos de aprendizaje propios de cada sexo.
- Lenguaje, imágenes e iconografía no sexistas.
- Formación sobre la igualdad entre hombres y mujeres, técnicas de entrevista, acoso sexual, etc.
- Prácticas para mujeres a nivel directivo.

Remuneración

- Igualdad salarial.
- Igualdad en la distribución de fondos para la investigación.

Cese en el servicio

- Igualdad entre hombres y mujeres respecto a acuerdos de fin del empleo.
- Entrevistas de fin de contrato a mujeres.

la ciencia sobre las mujeres. Además, pueden propiciar la aprobación de leyes que fomenten el reconocimiento y la protección de los saberes locales y su especificidad en función del sexo.

Estrategias e instrumentos en medios laborales y docentes

Las organizaciones ya tienen a su disposición una serie de instrumentos y técnicas que les ayudan a detectar los problemas y a aportar soluciones. Estos instrumentos, destinados a introducir modificaciones en las organizaciones y en el comportamiento humano, presentan una amplia gama de posibilidades de acción, que van del «estímulo de la zanahoria» a la «amenaza de la vara» y que incluyen incentivos, asesoramiento y guía, becas de estudio y de perfeccionamiento, informes públicos sobre la práctica de la igualdad entre hombres y mujeres y calendarios de resultados esperados.

Algunas asociaciones profesionales, por ejemplo en los campos de la ingeniería, la química o la medicina, apoyan activamente las redes de mujeres científicas y colaboran en la determinación de problemas y la concepción de soluciones. Estas asociaciones más progresistas se destacan particularmente en la denuncia de prejuicios, pero también desempeñan una importantísima función en la búsqueda de soluciones. Por ejemplo, la American Chemical Society, en su encuesta anual correspondiente a 1991, dejó constancia de que las químicas ganaban en promedio sólo el 88 % del sueldo de sus colegas masculinos, teniendo en cuenta criterios de edad, experiencia y nivel de estudios. Estos y otros análisis han llevado a la profesión a adoptar una serie de iniciativas en pro de la igualdad entre hombres y mujeres, y a la publicación, por el comité de mujeres, de una lista de los principales servicios químicos del país en los que todavía en el decenio de 1990 no había mujeres en plantilla. Registrar y reconocer el problema son los primeros pasos para hallar soluciones.

Las profesiones científicotecnológicas también pueden aprovechar las experiencias que han obtenido buenos resultados en otros sectores. Los deportes constituyen un ejemplo de los interesantes beneficios que puede arrojar

el intercambio sectorial. Las organizaciones nacionales e internacionales que fomentan la participación de las niñas y las mujeres en los deportes han elaborado una amplia gama de instrumentos, políticas y directrices a nivel nacional e internacional con respecto al acoso, la igualdad entre los sexos, el acceso a las instalaciones, el asesoramiento y la imagen positiva de la mujer para favorecer la plena participación femenina en el mundo del deporte. Además, como pudo comprobarlo personalmente la atleta y científica Leigh Handy Royden, del Massachusetts Institute of Technology (MIT), la práctica del deporte también puede afianzar la autonomía de las mujeres a nivel profesional y viceversa: «Una de las cosas que me ayudó como mujer en el mundo científico fue mi carrera deportiva, que me enseñó a competir tanto física como psicológicamente frente a presiones del exterior... al contrario de los hombres, son muy pocas las mujeres que reciben este entrenamiento» (*Science*, 1992, 255, pág. 1.388).

En el Cuadro 1 se enumeran una serie de instrumentos y estrategias que las organizaciones y sistemas escolares pueden utilizar para evaluar la situación de la igualdad entre hombres y mujeres en sus medios y empezar a solucionar los problemas. Los ejemplos proceden de los sectores público y privado, e ilustran las medidas que se pueden adoptar en las instituciones, interviniendo a distintos niveles para efectuar cambios en los planos personal y de la organización.

Instrumentos en materia de decisiones

Por último, para poder llevar a cabo cambios y que las mujeres participen plenamente en la ciencia y la tecnología, es preciso que su número sea insuficiente en los niveles de decisión de las instituciones científicotecnológicas, los departamentos, los consejos ejecutivos, los servicios de desarrollo y las instituciones educativas. En la actualidad, la participación de mujeres profesionales en los órganos encargados de decisión en los ámbitos de la ciencia y la tecnología y en los consejos de asesoramiento es nimia (véase el Cuadro 2).

Es necesario buscar con determinación candidatas competentes, como se recomienda en innumerables textos e

CUADRO 2
COMPOSICIÓN DE ALGUNOS CONSEJOS
CONSULTIVOS NACIONALES

Organización	Número total de miembros	Número de mujeres
AUSTRALIA		
Consejo Científico del Primer Ministro, Oficina del Jefe de la División Científica Departamento del Primer Ministro y el Gabinete	22	4
CANADÁ		
Consejo Nacional Consultivo sobre Ciencia y Tecnología	20	5
COMUNIDAD EUROPEA		
Comité para el Desarrollo Europeo de la Ciencia y la Tecnología	30	1
EGIPTO		
Comité Ministerial Supremo de Ciencia, Investigación y Tecnología	13	1
FRANCIA		
Consejo Superior de Investigación y Tecnología	40	2
JAPÓN		
Consejo de Ciencia y Tecnología	11	2
PAÍSES BAJOS		
Consejo Consultivo sobre Ciencia y Tecnología	12	1
REINO UNIDO		
Consejo de Ciencia y Tecnología	12	1
ESTADOS UNIDOS		
Comité de Asesores del Presidente sobre Ciencia y Tecnología	18	6

informes de los grupos de estudio nacionales. Para poder alcanzar este objetivo conviene crear bases de datos con las posibles candidatas cualificadas en ciencia y tecnología, y aprovechar plenamente las existentes, así como las redes mundiales de asociaciones profesionales femeninas y organizaciones no gubernamentales que trabajan en políticas y programas en favor de la igualdad entre hombres y mujeres, en ciencia y tecnología. En el ámbito internacional, UNIFEM cuenta con una base de datos informatizada sobre unas 650 organizaciones no gubernamentales relacionadas con las cuestiones de la igualdad, la ciencia y la tecnología, muchas de las cuales realizaron una activa labor en la promoción de la ciencia y la tecnología durante la Cuarta Conferencia Mundial sobre la Mujer (véase el recuadro sobre las organizaciones no gubernamentales).

CONCLUSIÓN

Al responder a la pregunta *La ciencia, ¿por quién?* a menudo se hacen patentes un cierto número de desigualdades y aparece una serie de tendencias que han obstaculizado la plena participación de las mujeres en la ciencia y la tecnología y han marginado esta fuente de saber. Reconocer y abordar estas desigualdades y tendencias trae consigo un replanteamiento serio de nuestras actitudes y puntos de vista y conduce naturalmente a preguntarse: *La ciencia, ¿para quién?*

La ciencia, ¿para quién?

SANDRA HARDING Y ELIZABETH MCGREGOR

¿A quién favorecen los progresos de la ciencia en su conocimiento de la naturaleza y las relaciones sociales? Como ya se ha señalado al principio de este capítulo, esta pregunta induce a reflexionar sobre los modelos de ignorancia sistemática creados para todos cuando se excluyen los intereses de grupos sociales como el de las mujeres al decidir cuáles son los problemas que requieren un estudio científico y cómo deben ser formulados exactamente.

La mayoría de los observadores en todo el mundo duda de que la transferencia «lista para usar» de la tecnología y las ciencias modernas a las sociedades en desarrollo haya sido o pueda ser una solución al desarrollo desigual o a la injusticia a nivel mundial. Tanto esas ciencias como esas tecnologías fueron concebidas pensando en unas circunstancias sociales y naturales distintas de las que ahora prevalecen y de las que tienen mayor importancia en gran parte del mundo en desarrollo. De hecho, cuando se piensa en el poder destructivo que para el hombre y el medio ambiente han tenido estas ciencias y tecnologías en los últimos cincuenta años, se puede temer, como hacen muchos, que esos sectores de la ciencia y la tecnología han dejado de convenir también a las sociedades desarrolladas.

No cabe duda de que muchas de las cuestiones planteadas en los capítulos anteriores son capitales para un mayor bienestar de los hombres y mujeres más vulnerables a nivel económico, social y político en todo el mundo. Sin embargo, centrarse única o básicamente en las maneras de lograr que las niñas y las mujeres de los países en desarrollo y desarrollados tengan más acceso a las carreras científicas y tecnológicas modernas no puede dejar de ser para muchos un proyecto de dudoso interés social para la mayoría de la población mundial mientras no se aborde el problema general de «la ciencia, ¿para quién?».

Algunas científicas han aprovechado a veces sus experiencias e intereses profesionales «fuera del laboratorio» o ajenos a su medio laboral para esclarecer aspectos de la naturaleza hasta entonces ignorados, ante todo, evidentemente, los relacionados con el organismo femenino y su interacción con diversos entornos, y los ámbitos donde las leyes naturales y sociales se relacionan entre sí. Las preguntas planteadas sobre si al menos algunas mujeres tie-

nen tendencia a favorecer estilos diferentes de realizar la investigación científica han permitido valorar la posibilidad de enriquecer el conjunto del saber mediante una mayor consideración de las habilidades y el talento de todos. Las comunidades científicas modernas siempre han reconocido que tener en cuenta la opinión de los que piensan de otra manera ayuda a considerar la naturaleza desde el mayor número posible de puntos de vista. Esta diversidad también puede resultar enriquecida por los distintos enfoques aportados por hombres y mujeres (véase «¿Existe un estilo femenino de trabajo científicos?» y «Mujeres, ciencia y visión del mundo»).

Algunas de las características que confieren a las ciencias modernas su extraordinaria eficacia a la hora de encontrar soluciones para determinados tipos de problemas limitan su utilidad para otros. Considérese por ejemplo el caso de las ciencias ambientales. A este respecto, algunos observadores han señalado que a menudo no tienen en cuenta los tipos de estudios sociales que, precisamente, resultan esenciales para entender los esquemas de conservación y degradación del medio ambiente local. Del mismo modo, los análisis que se centran en un enfoque científico de los problemas ambientales también se alejan de las vivencias y de las condiciones locales y dan preferencia a la opinión de expertos exteriores que desdennan los saberes locales, y a explicaciones generalizadoras de escasa utilidad en las condiciones locales concretas. Por último, los planteamientos científicos pueden dar a los investigadores y al público en general la impresión, tal vez injustificada, de que existe una gran certeza sobre cómo funciona la naturaleza y sobre las soluciones propuestas a los problemas (Seager, 1993). Reconocer las limitaciones de las soluciones científicas a los problemas del medio ambiente nos lleva a una renovada valoración de la importancia de los saberes locales y sobre todo del papel a menudo ignorado que desempeñan las mujeres en esta materia (véase el recuadro «Mujeres, ciencia y medio ambiente»).

Ya se ha tratado en este capítulo el tema de los saberes locales. Con frecuencia se les opone a las ciencias modernas, que aspiran a la validez universal, y de esta forma se destacan las importantes características de ambos siste-

Mujeres, ciencia y medio ambiente

BONNIE KETTEL*

¿Qué ve usted cuando mira el paisaje? ¿Hay aspectos del ambiente natural que le gustaría mantener o mejorar? ¿U otros que considera innecesarios o nocivos? ¿Hasta qué punto sus percepciones y preferencias respecto del uso y el manejo del medio ambiente natural se parecen a las de otras personas de su familia o su comunidad?

La investigación efectuada por el equipo de WEDNET en África indica que las percepciones ambientales a menudo difieren entre hombres y mujeres y que los elementos del ambiente natural que unos y otras conocen y valoran pueden ser muy diferentes, cualquiera sea el contexto cultural o regional (B. Kettel, *Gender and Environment: Lessons from WEDNET*, Westview, 1995). Este fenómeno no se limita al conocimiento de diferentes especies de vegetales y animales. Además, también puede ser diferente la manera y el grado en que las mujeres y los hombres perciben las interacciones entre diversos aspectos de los ecosistemas. En un reciente estudio de caso de ECOGEN, Rocheleau señaló que las mujeres de Kathama (Kenya) aportaron un concurso decisivo a su comunidad cuando un periodo de sequía obligó a todos los habitantes a rebuscar su alimento en campos y arbustos (Universidad de Clark, 1992).

En los últimos decenios, muchas investigaciones científicas e innovaciones tecnológicas han procurado responder más adecuadamente a importantes percepciones y preferencias ambientales con el fin de mejorar los niveles de vida y aumentar los ingresos. La ciencia y la tecnología nos han permitido poner constantemente a prueba los límites de la naturaleza, en la búsqueda de más eficiencia, productividad y ganancias. Sin embargo, se han planteado dos graves contradicciones.

En primer lugar, es sabido que muchas intervenciones científicas y tecnológicas, por bien intencionadas que hayan sido, han tenido poco éxito y con demasiada frecuencia han resultado nocivas para la sostenibilidad del ambiente natural (véase por ejemplo, Timberlake, *Africa in Crisis: the Causes and Cures of Environmental Bankruptcy*, Earthscan, 1985). También en segundo término, es notorio que, a pesar de todos los esfuerzos científicos y tecnológicos desplegados, la pobreza de las mujeres ha seguido aumen-

tando, especialmente en comparación con la situación de los hombres en sus propias familias y comunidades.

Además, las mujeres han sido más afectadas que los hombres por la degradación ambiental tanto en las zonas rurales como en las urbanas, en particular como consecuencia de sus actividades de recolección de leña y agua, de producción de cultivos alimentarios, y de mantenimiento de los hogares y el vecindario (Jacobson, *World Watch Paper*, n.º 110, 1992).

El olvido de la «perspectiva» femenina en la investigación científica y tecnológica y en sus aplicaciones ha tenido repercusiones profundamente negativas en los ingresos y el bienestar de las mujeres. Además, el hecho de que los planificadores del desarrollo, los científicos y los especialistas en innovaciones tecnológicas no reconozcan que las mujeres pueden percibir y comprender el ambiente natural en forma diferente de los hombres y tener otros intereses y objetivos respecto del uso y el manejo de su medio local también ha tenido graves repercusiones negativas en la administración sostenible de los ecosistemas locales. Hemos visto la naturaleza con un solo ojo y con un solo lado de nuestro cerebro humano colectivo. Pero el uso cuidadoso y la administración sostenible de nuestros ecosistemas local y planetario requiere indudablemente toda la percepción e inteligencia humanas.

Quizás los puntos de vista y los objetivos de las mujeres, que generalmente incluyen el bienestar de los hijos –niñas y varones–, debieran recibir comparativamente más importancia que los de los hombres en nuestra búsqueda mundial de un futuro humano viable. (F. Steady, *Women and Children First*, Schenkman, 1993). Es claro, en todo caso, que queda mucho por hacer en el campo de la investigación y las aplicaciones científicas y tecnológicas para que se puedan tomar en cuenta las percepciones, los conocimientos y los objetivos de las mujeres en materia de medio ambiente.

* La Dra. Bonnie Kettel es profesora asociada de la Facultad de Estudios Ambientales de la Universidad de York, Canadá.

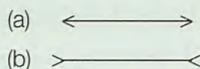
mas, aunque también se ocultan otros rasgos y las relaciones que existen entre ellos. Como se ha indicado en párrafos anteriores, también los conocimientos de las ciencias modernas están moldeados por intereses y la fuerza del

saber tradicional «locales» (por ejemplo, los intereses de los «expertos», relacionados con su carrera, su disciplina y su búsqueda de explicaciones universales). Además, las ciencias modernas han integrado gran parte de las aporta-

Las mujeres, la ciencia y la concepción del mundo

SHIRLEY MALCOLM*

Hace algunos años en una clase de psicología me enteré de que existía un grupo de personas que no caían en la trampa de una ilusión óptica que generalmente engañaban a todos los demás. Si nos piden que comparemos dos líneas de igual longitud con flechas en los extremos que apuntan en diferente dirección, la mayor parte de nosotros «vemos» que la línea (b) es más larga que la línea (a) debido a la forma en que se presenta.



En una obra clásica (*The Influence of Culture on Visual Perception*, 1966), Segall, Campbell y Herskovits señalan que los grupos que vivían en un medio relativamente desprovisto de motivos lineales eran menos propensos a la ilusión óptica. Algunos aspectos de su cultura, de su educación y de su medio les protegía de la desviación perceptiva que me había afectado. Aprendí que en un mundo curvilíneo, en que las casas no tuvieran ángulos, donde se usaran pocas líneas rectas, la percepción de las líneas y de sus contrastes era diferente de la mía.

Del mismo modo, cuando los varones y las niñas reciben una educación diferente, como ocurre en mi país, adquieren puntos de vista y hábitos perceptivos que difieren. La noción de prácticas de educación indistinta para uno u otro sexo es relativamente reciente y no es siempre aceptada por los padres a quienes, como yo, resulta difícil escapar a la tradición. Yo deseo que mis hijas tengan una casa de muñecas como la que yo tenía, al igual que el tren que yo no tuve. A resultas de la forma en que fui educada, no puedo escapar a la concepción diferente del mundo.

Los hijos y las hijas siguen recibiendo una educación diferente. Existen entre ellos diferencias biológicas tan reales como la interacción entre los aspectos biológicos y los cultu-

rales. En los seres humanos, la cultura prima en gran parte sobre la biología. Pienso que la pertenencia a uno u otro sexo no tiene relación con la capacidad de resolver problemas, pero que probablemente influye en los procesos mediante los cuales se resuelven. Considero esta diversidad no en términos de «deficiencia» sino de «diferencia» y creo que esa diferencia es una fuerza.

Muchos hemos trabajado sin escatimar tiempo ni esfuerzos para que haya más mujeres en las profesiones de la ciencia y la ingeniería, y ello por muchas razones: consideraciones económicas, de igualdad de acceso, de estabilidad relativa del empleo y la utilización de los talentos, así como la satisfacción personal y el desafío intelectual que esas carreras representan para las mujeres. También lo hacemos porque la ciencia y la tecnología no dan todos sus frutos cuando les faltan «otras» perspectivas. Si se excluye a las mujeres y a las minorías, se pierden los puntos de vista que ellas tienen del mundo.

Los propios científicos esgrimen el argumento de la necesidad de perspectivas diferentes para justificar la mezcla de grupos de edad en el profesorado científico, en los intercambios internacionales de científicos e incluso la existencia de institutos multinacionales de investigación. Según un estudio de Albert Teich, *Scientists and Public Affairs* (MIT Press, 1974), sobre los laboratorios europeos de investigación como el CERN, los científicos de los laboratorios consideraban muy positivas las relaciones e interacciones con colegas de historia y tradición culturales diferentes, y que esas diferencias tenían influencia en la forma en que percibían el mundo. Es interesante observar que esa influencia se ejercía en la forma de sacar conclusiones, sin modificar necesariamente los resultados finales pero sí el método para obtenerlos. Ahora bien, los métodos sugieren nuevas preguntas, nuevos vínculos y nuevas relaciones, cuestiones todas de gran importancia en

ciones de los saberes antiguos de Europa, Asia, las Américas y otras partes del mundo, entre las que se pueden citar la numeración arábiga, los conceptos matemáticos indios, los principios agrícolas andinos del cultivo de patatas, etc.

las actividades de investigación avanzada. Un ejemplo de científicos en cuyo seno hay diversidad puede ser como un grupo de babuinos: ¿se mantiene cohesionado por el comportamiento agresivo de los machos o por la disposición amistosa de las hembras? Tener en cuenta este tipo de alternativa puede dar lugar a una apreciación más realista de la organización social. Una perspectiva distinta puede modificar la manera en que se concibe un estudio de la hipertensión, involucrando sólo a la población masculina o incluyendo a las mujeres como «modelo de referencia»; o conducir a elaborar un algoritmo mediante la oposición de dos modos de razonamiento. Pero la exclusión masiva de un grupo de personas que tiene una perspectiva y una visión del mundo diferentes –sea intencional o casual– empobrece la profesión.

Dado el papel fundamental que tienen en nuestra vida la ciencia y la tecnología, pienso que tenemos que cuidar especialmente de no introducir en ellas las exclusividades. Cada cual debe ser apreciado por las perspectivas originales que puede aportar a la investigación. Hay que cultivar con esmero los talentos de todas las personas interesadas y capaces, y evitar que una sociedad indiferente u hostil los excluya debido a sus diferencias. Me alegra haber conocido gente que no se dejaba engañar por una ilusión óptica. Quizá una mayor heterogeneidad en la visión que la ciencia tiene del mundo nos ayude a considerar con imparcialidad muchas otras cosas.

* La Dra. Shirley Malcolm es directora de Educación y Recursos Humanos de la Asociación Estadounidense para el Progreso de la Ciencia, miembro del Comité de Asesores del Presidente sobre Ciencia y Tecnología y de la Junta Nacional de Ciencias de Washington, D.C.

Tampoco hay que olvidar que la expansión de las culturas europeas permitió a las ciencias modernas reflexionar sobre las observaciones de la naturaleza hechas en numerosos lugares del mundo e inspiradas en tradiciones culturales muy diferentes de búsqueda del saber. De forma que mediante procesos históricos el conocimiento obtenido en contextos locales con frecuencia ha dado lugar a conceptos de validez universal (Goonatilake, 1984). De hecho, las ciencias modernas sólo han podido evolucionar y, por lo tanto, ser utilizadas en contextos locales, incluso si éstos se extienden desde Cabo Cañaveral hasta la Luna o a Júpiter.

Durante los tres últimos decenios, tanto los productores como los usuarios o los teóricos de la ciencia han llegado a comprender que los cambios científicos y tecnológicos que más contribuyen a mejorar las condiciones sociales son los orientados por el afán de alcanzar una interacción adecuada entre el saber local y los principios abstractos. Debido a sus características biológicas, a las actividades que les asigna la sociedad y a su diferente forma de organizar la adquisición del saber, las mujeres también tienden a tener diferentes intereses, esperanzas y relaciones con el medio social y natural y por lo tanto pueden generar saberes adicionales. Como las mujeres de todo el mundo transmiten el conocimiento a las tres generaciones que dependen de su actividad diaria y a la comunidad de la que forman parte, el desarrollo científico concebido también para ellas, y no sólo para los hombres, puede enriquecer considerablemente los recursos de la comunidad mediante un efecto multiplicador.

¿EXISTE UN ESTILO FEMENINO DE TRABAJO CIENTÍFICO?

En los últimos años, esta vieja pregunta ha cobrado nueva vida. De los pocos estudios existentes y de la observación cotidiana surgen constantemente algunos patrones de diferencia. Un informe publicado en *Science* (Barinaga, 1993) resume estos estudios. Por una parte, muchos observadores piensan que las directoras de laboratorio tienden a moderar las relaciones de competencia entre sus asistentes y sus alumnos, mientras que los hombres tienden a

fomentarlas. Por lo demás, esta diferencia de actitud respecto de la competencia se extiende aparentemente a la selección de los temas de investigación. Según un estudio, a menudo los hombres parecen preferir los temas candentes, en que los grupos de investigación estén compitiendo, mientras que las mujeres prefieren más frecuentemente un «compartimiento», «donde pueden llegar a ser especialistas tratando con una cantidad relativamente limitada de colegas interesados en el mismo campo». Un resultado de esta diferencia de método es al parecer que «mientras que las mujeres publican menos, sus trabajos son sin embargo citados con mayor frecuencia». Según los autores de este estudio, es posible que «las mujeres tiendan a ceñirse a la regla de producir artículos muy elaborados antes que limitarse a producir una gran cantidad de artículos».

Una diferencia, relacionada con la primera, es que las mujeres parecen sentirse más cómodas en el trabajo en colaboración que en la investigación individual. No es seguro que estas diferencias se manifiesten en distintas culturas, pues en algunas sociedades los hombres son los más acostumbrados a la colaboración (Traweek, 1988). Además, frecuentemente las mujeres parecen preferir colaborar con colegas de su sexo. Algunos observadores dicen que esta opción puede originarse en las diferentes formas en que hombres y mujeres tienden a resolver los conflictos. En un estudio se observaba que las mujeres «afirmaban a menudo que escuchaban todas las opiniones y trataban luego de llegar a un acuerdo, mientras que los hombres declaraban más bien que trataban de persuadir a los demás a que adoptaran sus propios puntos de vista». Cuando estas dos actitudes se manifiestan al mismo tiempo en un grupo de investigación, las mujeres tenderán a sentirse «iguoradas, no escuchadas e inclusive excluidas». ¿Estos estilos propios de cada sexo dan lugar a resultados científicos diferentes o simplemente a diferentes formas de trabajar en la producción de «la misma» ciencia? En muchos proyectos científicos y evidentemente en vastas áreas de investigación estas diferencias no influirán sobre los resul-

tados, porque cuando los investigadores de ambos sexos comparten la definición de los problemas abordados, las hipótesis, los conceptos, los diseños de investigación, las interpretaciones de los datos y las evaluaciones de las pruebas, sería difícil concebir que las diferencias a que nos hemos referido puedan modificar los resultados de la investigación. Sin embargo, en otras clases de proyectos, en particular en los de índole más aplicada y en los que interactúan las leyes naturales y sociales, es más difícil separar las cuestiones que se refieren a la forma de las referidas al centro de interés.

Son numerosos los proyectos de investigación de esta clase. En estos casos, las diferencias entre hombres y mujeres son sólo uno de los factores de origen cultural que inducen a grupos de investigadores de distintas culturas a interesarse por determinados problemas y, por consiguiente, a organizar el proceso de investigación de un modo particular, como han demostrado muchísimos estudios de los últimos treinta años de la historia de la ciencia. El estudio de los primates es uno de los ejemplos frecuentemente mencionados, por tratarse de un campo en que tres mujeres—Goodall, Fossey y Gladikas—adoptaron una forma distinta de trabajar. Se pueden hallar otros ejemplos en otras disciplinas como las ciencias ambientales, médicas y sanitarias. Evidentemente, nada en estos estudios sugiere que las diferencias biológicas sean la causa de estas particularidades en los métodos de trabajo ni que los hombres no puedan aprender a utilizarlos; incluso abundan los casos que demuestran lo contrario.

Las diferencias de sexo en los estilos de trabajo científico podrían resultar una de las fuentes más importantes, entre las recientemente halladas, de enriquecimiento del saber científico. La ciencia debería poder valorar todas las diversas formas de investigar que permitan obtener resultados menos parciales y distorsionados. Nuestro objetivo debiera ser que cada persona aumente sus capacidades e intereses en la naturaleza en lugar de limitarse a comprender sólo lo que nos dejan ver las rígidas anteojeras del sexismo.

Un potencial por realizar

ELIZABETH MCGREGOR Y SANDRA HARDING

¿Qué es lo que incita a los gobiernos y a la comunidad científica mundial a ocuparse de las cuestiones relacionadas con el papel de la mujer en el desarrollo científico y tecnológico? La respuesta más obvia es que las consideraciones de igualdad y derechos humanos motivan a los líderes políticos. Este compromiso fundamental está inscrito en la Carta de Derechos de las Naciones Unidas suscrita por los Estados Miembros en 1945.

Cincuenta años después, estos postulados siguen siendo insoslayables. En 1995 el Grupo de Estudio de la Comisión de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de las Naciones Unidas publicó su informe final «Ciencia y tecnología para un desarrollo humano sostenible: las cuestiones relacionadas con los sexos», en el que se pedía a los gobiernos que aprobaran la Declaración de intención sobre los sexos que fijaba seis objetivos básicos de igualdad entre los sexos. El informe recomendaba que todos los gobiernos establecieran comités especiales encargados de elaborar planes nacionales de acción para ejecutar los siguientes seis objetivos de igualdad en los campos de la ciencia y la tecnología:

- Asegurar la educación básica para todos, con particular hincapié en la enseñanza científica y tecnológica, de manera que todos los hombres y todas las mujeres puedan utilizar efectivamente la ciencia y la tecnología para satisfacer sus necesidades básicas.
- Velar por que los hombres y las mujeres tengan iguales oportunidades de adquirir formación avanzada en ciencia y tecnología y puedan cursar carreras en las esferas de la técnica, la ciencia y la ingeniería.
- Lograr la igualdad entre los sexos en las instituciones científicas y tecnológicas, incluidos los órganos normativos y de adopción de decisiones.
- Velar por que las necesidades y aspiraciones de los hombres y las mujeres se tengan igualmente en cuenta en la determinación de las prioridades en materia de investigación y en la formulación, la transferencia y la aplicación de nuevas tecnologías.
- Asegurar que todos los hombres y las mujeres tengan igual acceso a la información y a los conocimientos,

en particular los conocimientos científicos y tecnológicos, que necesiten para mejorar su nivel y calidad de vida.

- Reconocer los sistemas de conocimientos nacionales, donde existan, y su naturaleza específica en cuanto a los sexos, como fuente de conocimientos complementaria de la ciencia y la tecnología modernas, que tiene también valor para el desarrollo humano sostenible.

Hablando en la Conferencia «La ciencia del siglo xx: más allá de la metrópolis» organizada por el ORSTOM¹ y la UNESCO en septiembre de 1994, el profesor Geoffrey Oldham, Presidente del Grupo de Estudio de la Comisión de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, dijo en la sesión plenaria: «Es necesario que la comunidad científica internacional adopte una posición respecto a lo que considera justo, equitativo y ético en los diversos asuntos relacionados con la ciencia y la tecnología. Hasta cierto punto, Pugwash desempeñó esa función en los años 70, pero en los 90 otras organizaciones no gubernamentales podrían estar en mejores condiciones para hacerlo. Entre los temas que habría que tratar figura [...] la igualdad de oportunidades para las mujeres en las profesiones científicas y tecnológicas» (Oldham, 1994).

La consideración de la igualdad y de los derechos humanos en la ciencia y la tecnología supone la igualdad de acceso a la enseñanza científica básica para que las mujeres y los hombres puedan tomar decisiones con conocimientos acerca de los muchos asuntos científicos y tecnológicos que tienen repercusión en su vida cotidiana. Esto también supone iguales oportunidades y derechos a contribuir al acervo humano de avances científicos y tecnológicos, igual acceso a los beneficios sociales y económicos inherentes a las profesiones científicas, igual participación en la elaboración y la evaluación de las políticas de ciencia y tecnología, e iguales beneficios, como usuarios de la ciencia, de la inversión y el avance científico y tecnológico.

Estos dos últimos aspectos de la igualdad son especialmente importantes porque la concepción y la evaluación

1. ORSTOM: Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo y Cooperación.

de los proyectos científicos y tecnológicos no han incluido sistemáticamente un análisis inicial y una evaluación ulterior de la diferencia de repercusiones de las políticas y los proyectos de ciencia y tecnología en la vida de los hombres y la de las mujeres. Esta omisión ha contribuido a crear situaciones en que las políticas, los proyectos y las técnicas de desarrollo de la ciencia y la tecnología se han formulado y elaborado sin tener en cuenta las necesidades y los intereses de las mujeres y han favorecido, históricamente, a los hombres más que a las mujeres (Grupo de Estudio de la Comisión de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, 1995b).

Los gobiernos tienen creciente tendencia a considerar la igualdad entre los sexos en el contexto de la ventaja que representa en términos de estrategia nacional en el mercado mundial. En muchos países hay cada vez más interés en maximizar la creatividad y la ingeniosidad de cada uno en la ciencia y la tecnología para aumentar la competitividad. La marginación de una mitad del talento de la nación no tiene ningún sentido. En 1993, el Comité de las Mujeres en la Ciencia, la Ingeniería y la Tecnología del Reino Unido reconoce, en su informe a la Oficina de Ciencia y Tecnología titulado *The Rising Tide*, que las mujeres son el recurso menos aprovechado del país. En Canadá, el informe *Winning With Women in Trades, Technology, Science and Engineering* preparado en 1993 por el Consejo Consultivo Nacional de Ciencia y Tecnología del Primer Ministro, aboga por la igualdad entre hombres y mujeres en ciencia y tecnología a fin de colocar al país en situación de competitividad mundial: «En un clima de profunda reestructuración económica nacional y mundial [...] es fundamental que la fuerza de trabajo del país alcance y mantenga una situación de preparación tecnológica y científica que le permita prosperar en la economía mundial. Para asegurar esta preparación es esencial que se utilice plenamente el potencial de todos los sectores de la población. La contribución potencial de las mujeres ha sido poco evaluada y desaprovechada y lo sigue siendo. Reconociendo este hecho, y en particular que todavía existen barreras para la plena participación de las mujeres en los campos científicos y técnicos, se requie-

ren estrategias para eliminar estas barreras en todas las fases del desarrollo educativo y profesional de las mujeres (Canadá, 1993; 3)».

En los países en desarrollo, donde la ciencia y la tecnología son importantes instrumentos de transformación para lograr el desarrollo sostenible, recurrir al talento de las mujeres se ha considerado «de interés estratégico para los países» (Approtech, 1993). Observando la brecha entre la educación de las niñas y la de los varones en los países en desarrollo, la publicación del Banco Mundial *Educating Girls and Women: Investing in Development* apuntó el alto costo para el desarrollo en pérdida de oportunidades de aumentar la productividad y el ingreso y de mejorar la calidad de la vida, cuando los gobiernos y la sociedad no se ocupan de la desigualdad en el acceso a la educación.

Los investigadores están abordando la cuestión del género en el contexto del interés a largo plazo de reflejar mejor la composición demográfica de la población respectiva (Etzkowitz, 1994). El aislamiento y el favoritismo de clase no sólo minan el apoyo a las comunidades científicas sino que también las privan de contribuciones de toda la gama de usuarios finales y reducen las importantes interacciones que ayudarían a asegurar la adecuación de sus políticas y sus proyectos a todos los miembros de la sociedad.

Además, los medios científicos están considerando los beneficios de contratar y retener científicas e ingenieras en términos de incremento de diferentes perspectivas, prioridades y estilos de funcionamiento, creándose al mismo tiempo una fuerza de trabajo con capacidades más diversificadas. Esas comunidades que han comprendido la importancia histórica de incluir a las mujeres han pasado a ser agentes más valiosos del desarrollo social. Un sistema científico y tecnológico que incluya a las mujeres puede desarrollarse basándose en la «diversidad de perspectiva y enfoques» y de esta manera vigorizarse (Fox-Keller, *Science*, 1993). Puede que la cuestión no se trate de si las mujeres producen una «ciencia diferente» sino más bien del principio de producir ciencia adecuada a las necesidades sociales y que refleje todos los intereses de la sociedad.

De aquí que no sólo las consideraciones de igualdad y de respeto de los derechos humanos sino también diversas formas de interés constituyan para los gobiernos y las comunidades mundiales de ciencia y tecnología buenas razones para ocuparse de que las mujeres tengan igualdad de acceso a la enseñanza y a las profesiones científicas y técnicas, así como plena participación en todos los niveles de la estructura decisoria de la ciencia y la tecnología.

La comunidad científica y todos los miembros de la sociedad se beneficiarán de la plena participación de las mujeres y los hombres en las decisiones respecto de la prioridad que ha de asignarse a los proyectos científicos y tecnológicos, de la manera en que deben concebirse y ejecutarse, de la forma de ordenar la información y de evaluar y difundir los resultados.

Perspectivas mundiales

Las dificultades de la interpretación de los datos¹

ANN HIBNER KOBLITZ

La investigación sobre la situación de las mujeres en la ciencia y la tecnología es todavía muy incipiente. Sin embargo, está claro que hay motivos para evitar las generalizaciones abusivas y las conclusiones simplistas. Vamos a citar ejemplos:

- Aunque la experiencia de las mujeres en la ciencia tiene muchos aspectos comunes, quizás sobre todo en países cercanos y con parecidos culturales, económicos e históricos, también hay muchas diferencias. Un campo científico o técnico puede ser considerado inconveniente para las mujeres en un país en un periodo dado, y serles ampliamente accesible en un periodo histórico diferente o en otro país. Un ejemplo de ello es la ingeniería, que en muchos países se considera una profesión reservada a los hombres, sobre todo en sus ramas más prestigiosas como la ingeniería eléctrica o mecánica. Sin embargo, hay excepciones. En la ex Unión Soviética, en todas las especialidades de la ingeniería había elevado porcentaje de mujeres, y en la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua las mujeres representaban el 70 % de los alumnos de ingeniería en 1990, como pudimos observar personalmente.
- La situación de las mujeres en la ciencia, la tecnología y la medicina –y en la sociedad en general– no mejora constantemente y en forma lineal. Por ejemplo, en algunos casos el terreno conquistado por las mujeres en las profesiones científicas en el siglo XIX se perdió parcialmente en el siglo XX. Muchas facultades de medicina para mujeres (y negros) que habían florecido en los Estados Unidos en el siglo XX fueron cerradas por la American Medical Association a comienzos del siglo siguiente. Otro ejemplo es el trato que se dio a las

químicas e ingenieras norteamericanas (y europeas), quienes tras haber ocupado puestos altamente técnicos durante la Primera Guerra Mundial fueron obligadas a cederlos a hombres una vez terminado el conflicto (Rossiter, 1982). Del mismo modo, «el porcentaje de mujeres que ocupan un cargo docente en la República Federal de Alemania es inferior al porcentaje de alumnas que había en 1910» (Osborn, 1994).

También hay un retroceso en otros campos. El porcentaje de mujeres que participan en los programas de informática en los Estados Unidos, por ejemplo, está disminuyendo, y la situación actual de las científicas de los antiguos Estados socialistas de Europa Oriental es casi trágica (*Science*, 263, 1994: pág. 1.477; Koblitz, 1993). Por otra parte, a veces se observa un aumento del porcentaje de mujeres en determinadas especialidades, campos de trabajo o países, pero por razones esencialmente negativas. En las universidades nacionales de América Latina, gravemente afectadas por los recientes programas de ajuste estructural y de corrección económica, las mujeres representan un porcentaje cada vez más alto en el profesorado de las facultades de ciencias, pero solamente porque los hombres abandonan la universidad por puestos más lucrativos en el sector privado.

No hay una correlación necesariamente positiva entre la situación de las mujeres en la ciencia, la tecnología y la medicina y los índices generalmente aceptados de desarrollo económico. En numerosos países desarrollados, entre ellos muchos de Europa Septentrional y Occidental así como de América del Norte, los índices de participación de las mujeres en la ciencia son lamentables en comparación con los de muchos países en desarrollo. Los porcentajes de científicas son particularmente bajos en los

1. Este informe fue escrito por la profesora Koblitz como consultora de la División de Estadística de las Naciones Unidas, en el marco del programa de investigación para la preparación de *The World's Women 1995: Trends and Statistics* publicado por las Naciones Unidas. Lo utilizamos aquí con autorización de las Naciones Unidas.

países escandinavos (occidentales), Alemania Occidental, los Países Bajos y el Reino Unido. En cambio, en países mediterráneos como Italia y Turquía los índices son mucho mejores.

Es frecuente que las mujeres sean confinadas en ciertos sectores científicos y técnicos, aunque sus porcentajes totales parezcan razonablemente satisfactorios. Por ejemplo, es común la abundancia de mujeres en la enseñanza universitaria, especialmente a niveles bajos del escalafón docente.

Igualmente, se observa a veces que las mujeres se han refugiado consciente o inconscientemente, en determinados sectores, probablemente para tratar de hacerse un lugar dentro de las ciencias naturales. Por ejemplo, en los Estados Unidos, a finales del siglo XIX y comienzos del XX trataron de constituir un sector propio creando las disciplinas de economía doméstica y nutrición. Pero pronto se encontraron más o menos encerradas en ellas y tuvieron dificultades para conseguir trabajo en otros campos (Rositer, 1982).

La contribución de las mujeres en muchos ámbitos de la ciencia, la tecnología y la medicina es mucho mayor que lo que se piensa generalmente. Es menester seguir investigando la función de las mujeres en esos campos, y todavía más necesario difundir información sobre este tema. También escasean las estadísticas verdaderamente comparables sobre la situación en diversas culturas. Por no dar sino un ejemplo, sería muy enriquecedor disponer de un estudio verdaderamente transcultural sobre cuándo y en qué circunstancias las mujeres pudieron ingresar en la universidad y en qué disciplinas fueron recibidas por primera vez. En algunos países de Europa continental, por ejemplo, las primeras mujeres que obtuvieron doctorados y enseñaron en las universidades eran especialistas en fisiología, anatomía, matemáticas, física y química. Los profesores de las ciencias llamadas humanas fueron más renuentes a admitir mujeres en sus filas.

Las experiencias de las mujeres en las ciencias, la tecnología y la medicina han sido diversas y frecuentemente de tendencias contradictorias según las disciplinas, las culturas y los periodos históricos. Por lo tanto, habría que ser sumamente cautelosos para no caer en generalizaciones

globales acerca de la naturaleza femenina, de la función de la mujer bajo el patriarcado, etc. Las interacciones entre el sexo, la cultura y las ciencias son complejas, y es imprudente sacar conclusiones simplistas para caracterizar la participación y la situación de las mujeres en las ciencias.

Ann Hibner Koblitz es profesora asociada de historia en Hartwick College (Oneonta, N. Y., Estados Unidos) y autora del libro *A Convergence of Lives - Sofia Kovalevskaja: Scientist, Writer, Revolutionary* (New Brunswick: Rutgers University Press, 2.^a edición, 1993) y de más de 20 artículos sobre la historia de la ciencia, la tecnología y la medicina en Rusia, así como sobre el papel de las mujeres en la historia de la ciencia y la situación de las profesionales en los países en desarrollo. Es fundadora y directora del Fondo Kovalevskaja para las mujeres de ciencia en los países en desarrollo, miembro de la Junta Ejecutiva del Comité Estadounidense de Cooperación Científica con Viet Nam y presidente del Subcomité de Mujeres en la Ciencia y la Historia de la Ciencia.

La mujer en la ciencia: el caso de África

LYDIA P. MAKHUBU

Abdus Salam, Presidente de la Academia de Ciencias del Tercer Mundo afirmó acertadamente que «en definitiva lo que distingue fundamentalmente el Sur del Norte es la creación, el dominio y la utilización de la ciencia y la tecnología modernas».

Esta observación confiere a la ciencia y la tecnología un papel especial en el desarrollo, pues las designa como elementos determinantes del progreso socioeconómico. Hay que agregar que, en el Norte, el dominio y la utilización de la ciencia y la tecnología han ido más allá de la construcción de industrias complejas y otras infraestructuras materiales y han dado lugar a una fusión de la ciencia y la cultura que genera una metamorfosis social autónoma y continua que impregna todos los aspectos de la vida humana. La ciencia y la tecnología se han convertido en una manera de vivir que permite a las sociedades pasar de un «nivel mínimo de subsistencia» (Odhiambo, 1994) a entidades altamente productivas impulsadas por un proceso rápido y sin precedente de creación de conocimiento científico. Por lo tanto, hoy día en África la principal tarea

de quienes defienden un desarrollo guiado por la ciencia consiste en idear mecanismos de difusión entre ésta y las culturas africanas, para que la ciencia se convierta en la fuerza motriz de una mejora general de la calidad de vida para todos.

Si se observa con más detenimiento la situación en los países industrializados, se descubre que la creación de un medio propicio al desarrollo de la ciencia es un aspecto crítico del avance científico y tecnológico. Los requisitos esenciales de este proceso comprenden la adopción de políticas de fomento de la investigación científica e inversiones importantes en el desarrollo de los recursos humanos y la infraestructura científica en todos los niveles. En lo que respecta al gasto, se comprueba que los países africanos gastan apenas una décima parte de lo que muchos países industrializados dedican a la ciencia y la tecnología; éste es un factor que ha dado lugar a las deficiencias existentes en África en todos los aspectos del desarrollo científico. Por ejemplo, el continente no ha podido generar una masa crítica de especialistas necesaria para dar lugar a una dirección científica eficaz e innovadora que encabece la investigación científica productiva y otros aspectos vitales del desarrollo basado en la ciencia. El Cuadro 1 pone de relieve las grandes disparidades que existen entre África y otras regiones del mundo con respecto al capital humano y científico.

Uno de los principales y más serios obstáculos para el desarrollo en África es la falta de capital humano autóctono suficiente para participar en la revolución científica mundial y contribuir a la creación de nuevos conocimientos mediante la explotación adecuada de los vastos recursos naturales del continente. Es fundamental dar prioridad a la creación de recursos humanos que tengan empuje suficiente para orientar el empeño científico hacia una transformación sociocultural de África totalmente basada en la ciencia. Una transformación de este tenor debería liberar al continente del hambre, la malnutrición y las enferme-

CUADRO 1
NÚMERO DE CIENTÍFICOS E INGENIEROS
EN ALGUNAS REGIONES

Países recientemente industrializados de Asia	92 300
África	73 100
Israel	20 100
Especialistas por cada 10 000 habitantes	
África	1,1
América Latina	3,6
Países recientemente industrializados de Asia	10,0
Europa	22,0
América del Norte	33,6
Israel	44,0

Fuente: *Anuario Estadístico de la UNESCO, 1993.*

dades, y permitir la adopción de medidas para detener el creciente deterioro del medio ambiente. En África, donde el 70-80 % de la población reside en las zonas rurales, una buena aplicación de la ciencia y la tecnología al desarrollo redundará en una mejor calidad de vida para la mayoría de la población (Makhubu, 1993). Sin embargo, no puede esperarse que esta mejora se produzca sin la participación de la población, que debe comenzar por apreciar los beneficios de la ciencia para hacer posible su integración en la cultura.

No obstante, hay que reconocer que no han faltado esfuerzos para solucionar estas deficiencias del progreso científico de África. Pero, a pesar de todo, en los dos últimos decenios los numerosos problemas económicos y la agitación política han desviado la atención de las cuestiones esenciales, como por ejemplo la creación en el conti-

nente de capacidades en materia científica. Tal es el contexto en que se propicia la promoción de la mujer en la ciencia, no sólo por un afán de equidad sino como un medio importante de fortalecer las capacidades del continente para atacar científicamente los problemas multidimensionales que se han vuelto endémicos en muchos países (Makhubu, 1993). Las mujeres, que constituyen alrededor del 50 % de la población africana, y que son las educadoras y transmisoras habituales de los valores y normas tradicionales, son una fuente rica y no explotada que el continente africano no puede permitirse ignorar, especialmente en esta época de transición social.

En la actualidad, las mujeres tienen escasa representación en la ciencia en todos los niveles del sistema educativo, en especial en la universidad. Esto se debe a razones múltiples y complejas, entre ellas las actitudes socioculturales con res-

CUADRO 2
MATRÍCULA¹ EN ALGUNAS FACULTADES UNIVERSITARIAS, NÚMERO TOTAL DE ESTUDIANTES Y PORCENTAJE DE MUJERES

País	Fecha	Ciencias humanas		Derecho		Ciencias sociales		Ciencias naturales		Matemáticas/ /informática		Medicina		Ingeniería		Agricultura	
		Total	%M	Total	%M	Total	%M	Total	%M	Total	%M	Total	%M	Total	%M	Total	%M
Angola	1990	—	—	860	—	—	—	609	40	#	#	834	42	779	21	379	32
Burkina Faso	1990	936	39	493	27	1 203	23	563	12	433	5	414	18	—	—	110	8
Burundi	1991	628	30	292	31	431	28	421	29	77	34	283	26	330	9	440	18
Etiopía	1991	704	28	222	10	2 591	22	1 700	6	468	9	929	6	2 070	5	1 387	9
Ghana	1990	2 339	31	39	5	804	27	955	15	206	11	824	23	635	3	479	11
Kenya	1989	5 448	28	632	32	—	—	1 966	15	#	#	1 106	22	854	4	1 808	23
Lesotho	1991	459	65	132	43	69	58	312	36	#	#	—	—	—	—	19	84
Níger	1989	709	14	851	3	636	21	280	6	#	#	432	26	98	4	164	6
Swazilandia	1991	287	63	205	40	233	51	341	33	#	#	—	—	—	—	90	28
Uganda	1990	636	33	169	34	1 166	26	880	15	155	10	561	22	207	8	598	18
Zambia	1989	1 161	28	145	23	#	#	757	14	#	#	349	28	551	1	228	7
Zimbabwe	1991	1 321	38	345	32	1 885	29	1 301	19	#	#	866	27	725	30	357	16
Kuwait	1991	2 257	66	602	50	1 580	74	1 593	65	1 636	72	791	63	1 342	39	—	—
Brasil	1991	140 566	74	159 390	44	161 214	57	41 158	49	70 898	38	137 602	64	150 015	17	38 700	30
México	1990	15 003	57	121 621	40	80 792	59	39 541	54	51 751	41	94 622	54	279 989	16	24 620	21
Italia	1991	207 046	80	244 446	53	375 341	47	97 945	51	49 910	42	110 644	50	165 480	11	32 097	34
Suecia	1991	2 763	64	5 174	54	5 606	74	3 425	53	6 504	19	8 994	62	20 124	21	1 205	45

1. Las cifras representan la matrícula en el nivel 6 de la CINE (enseñanza que permite obtener un primer título universitario o su equivalente).

Incluidos en otra facultad.

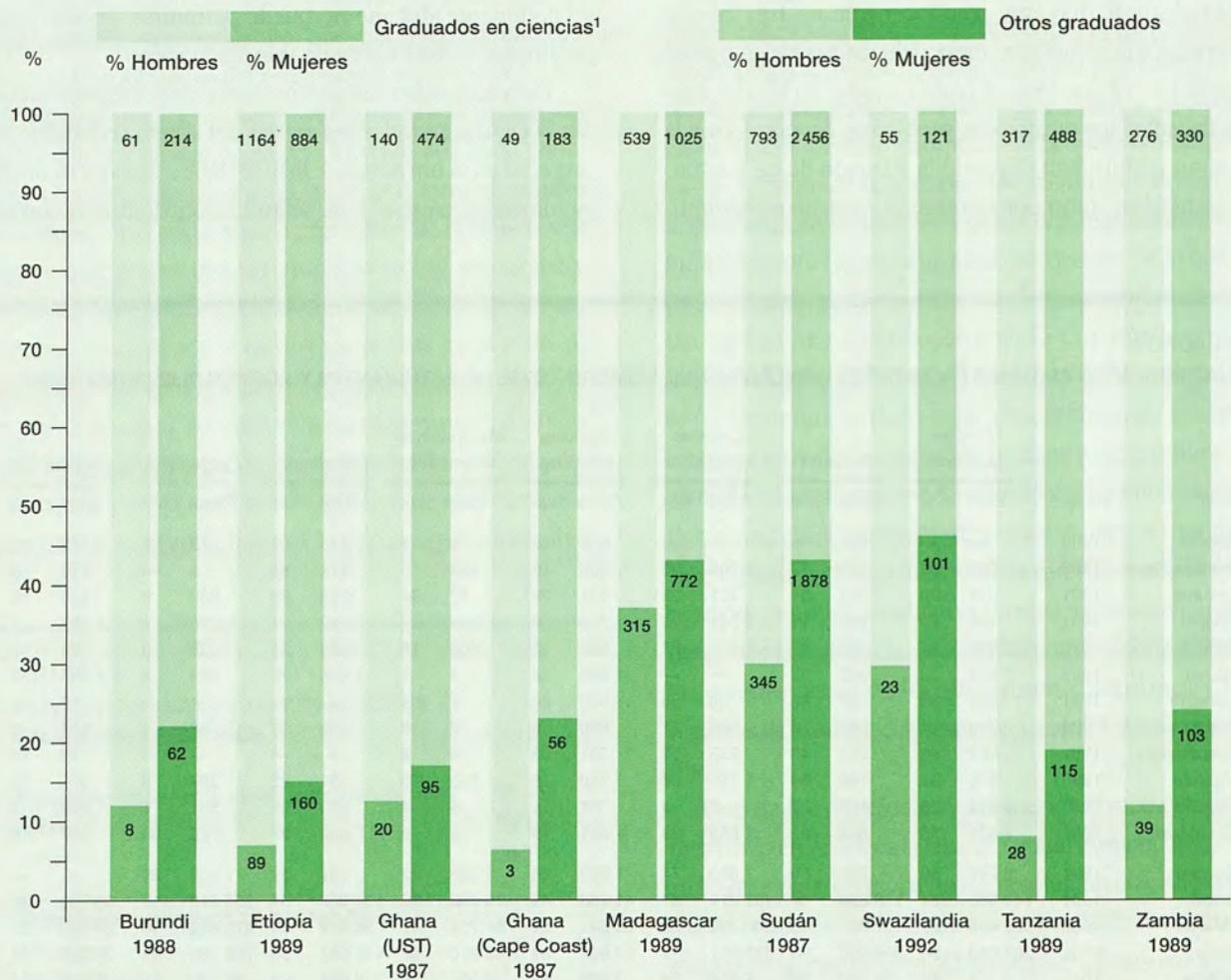
— Datos no disponibles.

Fuente: Datos del Anuario Estadístico de la UNESCO, 1993.

pecto a la educación de la mujer, la actitud de los maestros hacia las niñas matriculadas en las disciplinas científicas y la actitud de las propias niñas y mujeres en lo referente al estudio de la ciencia, que en general se considera un ámbito masculino. Todos estos factores limitan drásticamente la

inscripción de las mujeres en las carreras científicas y en consecuencia su movilidad ascendente en el liderazgo científico y la adopción de decisiones. Observando algunas cifras de determinadas universidades africanas (Cuadro 2 y Gráficos 1 y 2), estos aspectos están bien destacados por el

GRÁFICO 1
NÚMERO DE GRADUADOS EN ALGUNAS UNIVERSIDADES DE ÁFRICA, POR SEXO Y CAMPO DE ESTUDIOS

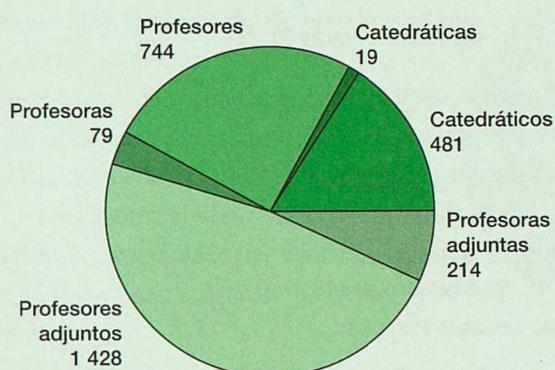


Nota: Las cifras en las barras indican el número de graduados y graduadas.

1. Ciencias comprende: ciencias exactas y naturales, medicina, agricultura, matemáticas e ingeniería. El porcentaje indica la proporción de mujeres en el total de graduados.

Fuente: Diversas publicaciones y documentos estadísticos.

GRÁFICO 2
PERSONAL CIENTÍFICO POR GRADO Y SEXO
EN DIEZ UNIVERSIDADES AFRICANAS¹ (1992)



1. Botswana, Ghana, Ibadán, Lesotho, Malawi, Nairobi, Swazilandia, República Unida de Tanzania, Zambia y Zimbabwe.

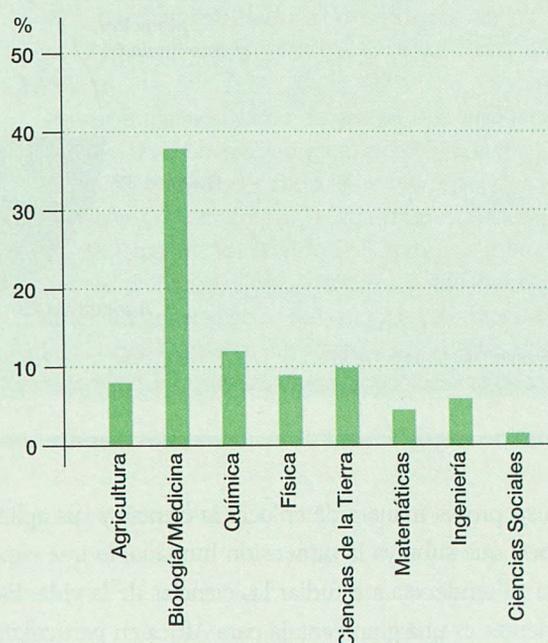
Fuente: *Commonwealth Universities Year Book*, 1993.

número de mujeres matriculadas y graduadas en las facultades de ciencias y en las disciplinas científicas, y el número de profesoras en las facultades de ciencias.

Al reflexionar sobre los efectos positivos de la ciencia y la tecnología en la vida humana, es esencial interrogarse sobre la manera en que podrían contribuir a resolver los problemas más graves de África. Estos acuciantes problemas, entre los cuales se encuentran la producción insuficiente de alimentos, la falta de servicios sanitarios y educativos y la degradación del medio ambiente, conciernen a la sobrevivencia humana y han puesto en peligro a comunidades enteras. Esta situación puede mejorarse mediante la aplicación adecuada de la ciencia y la tecnología. A este respecto la contribución de las científicas africanas se considera fundamental y significativa. Pese a la importancia de los programas de base, más importante aún es fomentar la participación de la mujer en las funciones de dirección de la educación y la ciencia, crear modelos de identificación y propugnar con fuerza el avance de la mujer.

GRÁFICO 3
DISTRIBUCIÓN DE CIENTÍFICAS, MIEMBROS
DE LA TWOWS, POR DISCIPLINA, 1995

Distribución porcentual de 1 077 miembros

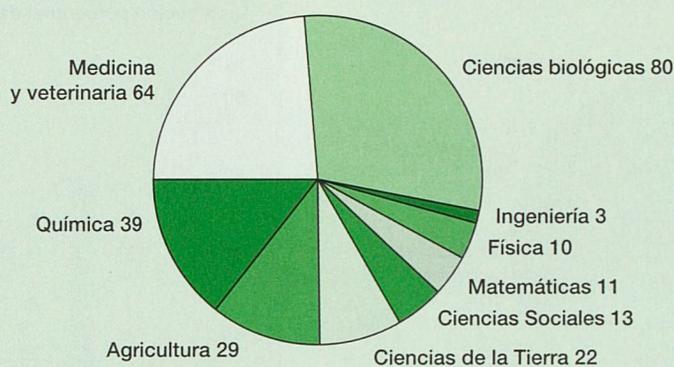


Fuente: Informe de la TWOWS.

Las científicas de África, como sus homólogas de todo el mundo, tienen una marcada tendencia a estudiar biología, química, nutrición y otras ciencias de la vida, como lo demuestra la distribución por disciplina de los miembros de la Organización de Científicas del Tercer Mundo (TWOWS) y de sus miembros en África (Gráficos 3 y 4). Estas cifras muestran claramente su preponderancia en biología, química, ciencias médicas, etc., todas disciplinas de gran importancia para los graves problemas africanos. Los países de ese continente deberían aprovechar esta circunstancia y alentar vigorosamente a las mujeres a que sigan las carreras científicas que les permitan encontrar las formas de aplicar la ciencia a la solución de sus agobiantes problemas. También se ha observado que, gracias a su estrecha relación con la familia y los niños, las mujeres tie-

GRÁFICO 4
DISTRIBUCIÓN DE CIENTÍFICAS AFRICANAS MIEMBROS DE LA TWOWS, POR DISCIPLINA

Distribución de 271 miembros



Fuente: Informe de la TWOWS.

nen su propia manera de enfocar la ciencia y sus aplicaciones, que subraya la dimensión humana, lo que explicaría su tendencia a estudiar las ciencias de la vida. Esta tendencia es una gran ventaja para África en particular, y convendría fomentarla.

La contribución de la mujer africana al desarrollo científico del continente puede considerarse también desde el punto de vista de su función tradicional. Por tradición la mujer ha estado siempre relacionada con la producción de alimentos y otros ámbitos que están íntimamente ligados a las disciplinas científicas antes mencionadas. La transición de estas funciones tradicionales a un marco científico moderno, de las actividades de base hasta el nivel científico más elevado, es una estrategia que merece apoyo en momentos en que África busca el modo de integrar su abundante patrimonio tradicional con la ciencia y la tecnología modernas. Cabe esperar que esta sugerencia «colmará la brecha» que existe actualmente entre el conocimiento científico moderno y el tradicional, y entre el nivel comunitario y las actividades científicas institucionales, y que abrirá el camino para que la ciencia forme parte de la vida africana. También podría servir para disipar la impresión de que la ciencia y la tecnología son nuevas en África

cuando, de hecho, hay pruebas de que siempre hubo interés por ellas hasta el momento en que, en ciertos periodos de la historia, la esclavitud y la colonización interrumpieron el progreso y sumieron al continente en «la edad oscura» (Odhiambo, 1994). Se considera que una mayor participación de la mujer africana en la ciencia sería un medio importante de aumentar el capital de especialistas en ciencia y tecnología y lograr así una masa crítica en las disciplinas científicas que interesan en especial a África. También es un modo crucial de integrar la ciencia y la cultura, ahora y en el futuro, mediante la participación de un grupo cuyas múltiples funciones pueden ser utilizadas con muchas ventajas para promover la cultura científica en todos los niveles de la sociedad.

Una vez expuestos todos los argumentos en favor de un aumento de la participación de las mujeres de África y de otros países en la ciencia, ciertas cuestiones quedan aún en el tintero. Muchas personas interesadas en el adelanto de la mujer se han preguntado si la mujer puede contribuir de manera original y única a la ciencia y la tecnología y a su aplicación al desarrollo, si sus percepciones de la ciencia y la tecnología y su utilización difieren de las de los hombres, si el hecho de que la mayoría de las científicas

se encuentran en el área de la biología y la medicina indica una preocupación natural por la vida, que podría influenciar sus decisiones y políticas con respecto a la utilización de la ciencia y la tecnología en el mundo. Éstas son preguntas importantes a las que asociaciones como la Organización de Científicas del Tercer Mundo están tratando de aportar respuestas.

Es evidente que la mujer, educadora y transmisora tradicional de los valores culturales, debe estar a la vanguardia de la educación científica, formal e informal, de la investigación y el desarrollo, en la adopción de políticas y en la creación de una visión del futuro de África en el que la sociedad se transformará para bien gracias a la ciencia.

Lydia Makhubu fue nombrada Vicerrectora de la Universidad de Swazilandia en abril de 1988 y es la única mujer que desempeña un cargo de este nivel en la región de África Austral. La profesora Makhubu es diplomada por la Universidad Pío XII de Lesotho, licenciada en química orgánica por la Universidad de Alberta y doctora en química médica por la Universidad de Toronto.

Ha desempeñado varios cargos de responsabilidad dentro de la universidad y forma parte de numerosas juntas y comisiones consultivas internacionales. Actualmente es Presidenta de la Organización de Científicas del Tercer Mundo (TWOWS). Se propone especialmente promover el desarrollo de la enseñanza superior y la representación de la mujer en el sector de la tecnología. Conserva su interés y actividades de investigación en la química de los productos naturales.

*La mujer en la ciencia: el caso de India**

RADHIKA RAMASUBBAN

Hace 40 años India inició un programa de modernización e industrialización económica y social, que condujo a un sostenido desarrollo de las instituciones de enseñanza superior de ciencia y tecnología. En la actualidad, India se enorgullece de tener la más alta concentración de personal científico y técnico del mundo en desarrollo. El número de estudiantes universitarios, licenciados y doctores en ciencia y tecnología se ha quintuplicado desde principios de los años 50 y supera los dos millones de personas. Las mujeres representan un poco más de la cuarta parte de esta cifra.

Las ciencias fundamentales y la medicina son las disciplinas más apreciadas por las mujeres que eligen una carrera universitaria. Alrededor del 88 % de las graduadas tienen un título en ciencias, 8 % en medicina y un poco menos de 3 % en ingeniería o tecnología. Sin embargo, el crecimiento reciente del número de mujeres matriculadas en los cursos de ingeniería muestra signos de disminución y podría incluso invertirse; las mujeres tienden a elegir ciertos ámbitos según pautas precisas: en ciencia, la biología y la química; en ingeniería, la electricidad y la electrónica; en cursos técnicos, la tecnología farmacéutica y la tecnología de laboratorio médico; y, en medicina, obstetricia y ginecología, pediatría, farmacología, bacteriología/patología, terapias de fonoaudiología, kinesiología y odontología.

Las mujeres tienen una tendencia a abandonar los estudios científicos en los primeros niveles; las tres cuartas partes no superan la licenciatura o su equivalente; sólo 1 % finaliza el doctorado. Lo mismo ocurre en ingeniería. Únicamente en medicina el índice de graduadas es más alto.

Alrededor de las dos terceras partes de las mujeres científicas y técnicas que trabajan se dedican a la enseñanza, y

una quinta parte realiza trabajos administrativos. Sólo el 3 % realiza tareas de investigación y desarrollo. También es insignificante la presencia de la mujer en trabajos técnicos tales como el control de calidad, el funcionamiento, el mantenimiento y la producción industrial, y en los puestos directivos más altos.

Hasta el momento, el sector público ha sido el principal empleador de científicos e ingenieros/tecnólogos. Emplea cinco veces más científicos que el sector privado y el doble de ingenieros. En lo que respecta a las ingenieras, también el sector público es el principal empleador (tres veces más que el sector privado) pero este esquema no es el mismo en las ciencias. Alrededor del 40 % de las científicas se encuentran en el sector privado, lo que plantea problemas pues los organismos y laboratorios del sector público son los más prestigiosos, en particular el Consejo de Investigación Científica e Industrial, el Consejo Indio de Investigación Médica, el Consejo Indio de Investigación Agrícola, el Ministerio de Energía Atómica, etc. Las científicas sólo ocupan el 5,4 % de los puestos de estas organizaciones. En otros organismos del sector público que emplean personal científico y técnico (los ministerios y departamentos del Gobierno Federal y los Gobiernos de los diversos Estados) la proporción de mujeres es sólo de 3,6 %, cifra aún menor que la de las entidades más reputadas.

En tanto que una quinta parte de los científicos, ingenieros y técnicos que ocupan posiciones medias y elevadas (determinadas en términos de salario) son hombres, sólo el 8 % de mujeres se encuentra en estos niveles.

Asimismo, mientras que sólo el 2 % de los hombres que buscan trabajo no lo encuentran, entre las mujeres esta cifra puede llegar hasta el 25 %. El 15 % de las mujeres con capacitación ni siquiera tratan de entrar en el mercado laboral.

* Fuentes: Véase CSIR (1981), DST (1980), Gobierno de India (1981) y University Grants Commission (1980-1989, 1983-1984, 1992-1993) en la bibliografía, página 360.

El relativamente pequeño número de mujeres que finaliza los programas de doctorado, su baja proporción en la investigación y el desarrollo, su preponderancia en las tareas docentes, su relativa ausencia de las organizaciones científicas más sobresalientes y la tendencia de las mujeres a ingresar en el sector privado se explican tanto por las contradicciones de la enseñanza superior y científica india, como por las obligaciones sociales de la mujer en la sociedad de este país.

Los problemas derivados de la separación que existe en India entre la enseñanza superior y la investigación científica, conjuntamente con las expectativas del papel social tradicional disuaden a las mujeres de emprender y continuar carreras de investigación. A pesar de pertenecer a clases relativamente privilegiadas –urbanas-clase media-profesionales, donde el apoyo financiero familiar se acompaña de una socialización temprana que alienta a las niñas a emprender estudios académicos por mero afán de realización personal–, las mujeres, para poder dedicarse a las carreras científicas, tienen que superar obstáculos suplementarios originados por su condición femenina. En primer lugar, generalmente las familias están dispuestas a postergar la edad de matrimonio de las hijas no más allá de la obtención de una licencia. Por lo tanto, si bien no tropiezan con obstáculos de orden financiero y cultural para ingresar en la enseñanza científica superior, las mujeres no gozan de autonomía para decidir su matrimonio, autonomía que es fundamental para controlar las circunstancias de sus carreras futuras. Puesto que su propia movilidad está supeditada a los requisitos de las carreras profesionales de sus maridos, se encuentran en condiciones desventajosas para buscar puestos estables en las instituciones nacionales de investigación.

Además, en Asia Meridional la enseñanza siempre fue considerada una vocación socialmente más aceptable para las mujeres, puesto que sus principios y condiciones de trabajo se estiman más compatibles con las exigencias conjuntas de la familia, el hogar y la carrera. Nadie juzga anormal que mujeres de condición social elevada y gran capacitación se contenten con puestos docentes poco remunerados.

La medicina, a pesar de su índole más exigente y absorbente en términos de horas de trabajo, siempre ha sido considerada en India una profesión conveniente para las mujeres. Ofrece, además, posibilidades de establecerse por su cuenta. También la ingeniería gana terreno en la escala de preferencias de las mujeres, y encuestas recientes han demostrado que las mujeres que optan por esta profesión son más independientes e inclinadas a hacer carrera. Ambas profesiones se consideran más interesantes, desde un punto de vista intelectual, que las otras áreas científicas; el mayor prestigio social que confieren dificulta el acceso a ellas; y como la admisión es objeto de concursos nacionales, a menudo las mujeres se ven obligadas a dejar sus hogares para seguir los estudios universitarios.

En resumen, el acceso de las mujeres a las carreras científicas y tecnológicas está aumentando en India, pero aún les queda mucho camino por recorrer para tener las mismas perspectivas que sus colegas de sexo masculino.

Radhika Ramasubban es especialista en historia y sociología de la ciencia y la tecnología. Recientemente ha centrado su trabajo en la política y las estrategias en materia de medicina y salud pública en el subcontinente indio. Ha publicado investigaciones en libros y publicaciones periódicas de Asia, Europa y América del Norte, y ha participado activamente en seminarios, simposios y organizaciones profesionales. Actualmente ocupa un cargo de Vicepresidente del Comité de Investigación sobre la Sociología de la Ciencia y la Tecnología de la Asociación Internacional de Sociología y desempeña un puesto de alto nivel en el Centro de Estudios Sociales y Tecnológicos de Bombay.

Protagonistas e iniciativas internacionales

ELIZABETH MCGREGOR Y SANDRA HARDING

JALONES FUNDAMENTALES Y RECOMENDACIONES PREVIAS

En el plano internacional, las cuestiones relacionadas con el lugar de las mujeres en la ciencia y la tecnología han sido objeto de una gran cantidad de análisis e iniciativas. El gráfico 1 recapitula las conferencias importantes que desde 1975 han abordado esos temas, particularmente en relación con el desarrollo y en diversos sectores, entre ellos los de salud, energía, agricultura, medio ambiente, educación, sistemas de información y las microempresas. En una serie de recomendaciones anteriores se pedía a los gobiernos que aumentaran el acceso de las mujeres a las carreras científicas y tecnológicas, y que elaboraran estrategias para garantizar su mayor participación en los organismos de adopción de políticas y decisiones. En los documentos de estos foros internacionales aparecen de modo recurrente las cuestiones relativas al acceso a los recursos, la información y las formaciones técnicas pertinentes. Últimamente se ha venido planteando la cuestión de los sistemas de conocimientos locales y el impacto diferenciado de la ciencia y la tecnología en las vidas de las mujeres y los hombres.

En el Volumen I de la guía denominada «*Gender in Science and Technology for Sustainable and Equitable Development*» (IDRC, WWVA, 1994) aparece una recopilación de los documentos y acuerdos internacionales. Un resumen de la evolución de las recomendaciones en el transcurso del tiempo y según los sectores científicos figura en un anexo de la publicación del Centro de Investigación para el Desarrollo Internacional de Canadá: «*Missing Links: Gender in Science and Technology*», que completa el Informe Final del Grupo de Estudio sobre las repercusiones de la ciencia y la tecnología sobre las cuestiones relacionadas con los sexos, de la Comisión de las Naciones Unidas de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (GWG - UNCSTD, 1995 a y b).

PRINCIPALES INICIATIVAS DE LAS NACIONES UNIDAS

Las organizaciones del sistema de las Naciones Unidas, instituciones internacionales financiadas con fondos públicos, de gran notoriedad y con un alto potencial como agen-

tes de cambio, tienen la responsabilidad de ser modelos del compromiso público en favor de la mujer en materia de ciencia y tecnología. El Grupo de Estudio de la Comisión de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de las Naciones Unidas emprendió, como parte de su mandato, una revisión de la situación de los organismos de las Naciones Unidas a este respecto. Con el apoyo del UNIFEM, se estudiaron 24 organismos para examinar cuestiones de eficacia interinstitucional, coordinación entre organizaciones y colaboración entre los organismos del sistema de las Naciones Unidas y las organizaciones no gubernamentales femeninas de ciencia y tecnología. El informe del UNIFEM, publicado en junio de 1994, con el título «*Review of UN Agency Activities in the Field of Gender, Science and Technology*», contiene información detallada sobre las políticas, la estructura, el personal, los programas y las actividades de evaluación de los organismos de las Naciones Unidas con respecto a la mujer, la ciencia y la tecnología. De este análisis se desprenden las siguientes conclusiones:

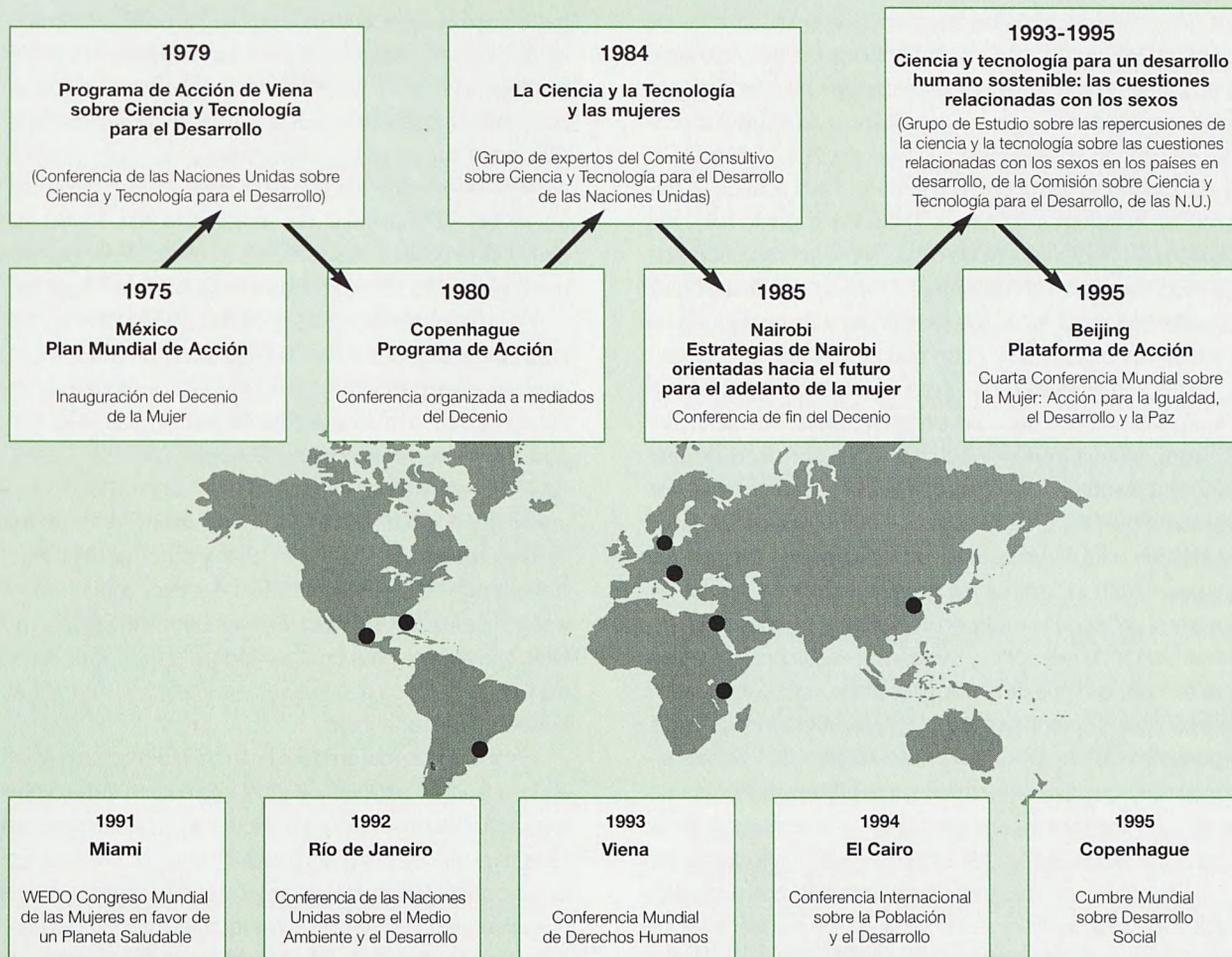
1. Aunque la mayor parte de los organismos se han comprometido a tener en cuenta las cuestiones de género, a menudo mediante la adopción de resoluciones de principios y la creación de departamentos, programas y/o centros de coordinación específicos, y a pesar de que muchos se interesan profundamente en la promoción de la ciencia y la tecnología, sólo cuatro organizaciones tienen centros de coordinación claramente especializados en el lugar de la mujer en la ciencia y la tecnología; en todos los casos (con la excepción del UNIFEM e INSTRAW) en sus políticas no se tiene suficientemente en cuenta la importancia de estas cuestiones.
2. El interés de la mayor parte de los organismos se refleja en soluciones tradicionales que consisten en ayudar a las mujeres a tener las mismas posibilidades de acceso al progreso tecnológico. Es menos común que se preocupen por asociar a la mujer al desarrollo tecnológico, que fomenten una mayor participación femenina en la adopción de decisiones en el campo de la ciencia y la tecnología o que tengan en cuenta los puntos de vista de la mujer en el sistema de ciencia y tecnología.

3. Los mecanismos internos de examen, seguimiento y evaluación de los programas y proyectos relacionados con la mujer, la ciencia y la tecnología son insuficientes por una serie de razones estructurales, financieras y de recursos humanos. Por ello, las cuestiones relacionadas con la igualdad entre hombres y mujeres no se han integrado efectivamente en las actividades del sistema de las Naciones Unidas relativas a la ciencia y la tecnología.
4. Pese a que hay ejemplos de colaboración interinstitucional con respecto a estos temas, se trata de situacio-

nes particulares que no obedecen a una acción coordinada y estratégica. Sin duda, se reconoce la necesidad de aprovechar la experiencia de las organizaciones no gubernamentales, pero pocos organismos han establecido las bases para incorporar sistemáticamente las organizaciones femeninas en la creación, ejecución o evaluación de políticas y programas.

El Grupo de Estudio de la Comisión de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo encargó un segundo análisis independiente sobre el compromiso global del sistema de las

GRÁFICO 1
LAS MUJERES EN LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA: JALONES HISTÓRICOS



Naciones Unidas y las iniciativas de las organizaciones. Tras haber examinado los resultados del análisis y el estudio realizado por el UNIFEM, el Grupo formuló una serie de recomendaciones a las Naciones Unidas, siete de las cuales se reproducen a continuación:

1. Habría que invitar al sistema de las Naciones Unidas a revisar su política estructural actual para que las cues-

tiones relacionadas con el lugar de la mujer en la ciencia y la tecnología queden oficialmente incorporadas en la misma. En cada organización, los especialistas en estos asuntos deberían estudiar casos concretos y elaborar material de formación para mostrar la manera de llevar a cabo este cometido. Esos especialistas deberían colaborar con el personal que trabaja en el seguimiento y la

Igualdad entre los sexos, ciencia y tecnología en las Naciones Unidas

MARILYN CARR*

La Cuarta Conferencia Mundial sobre la Mujer suscitó un interés general respecto de las cuestiones de igualdad entre los sexos en los organismos de las Naciones Unidas y dio lugar a un aumento de los recursos destinados a las actividades relacionadas con la mujer. ¿Pero cuántas de estas actividades se centran en la igualdad, la ciencia y la tecnología? Sin duda, mucho se dijo sobre este tema en 1985 cuando se trataron las estrategias de futuro. ¿Hasta qué punto han sido capaces las Naciones Unidas de contribuir a la aplicación de las recomendaciones relativas a la ciencia y la tecnología? ¿Cuáles son las políticas, los programas y las tendencias de los distintos organismos y con qué problemas se tropieza?

Estas son algunas de las preguntas que se formularon a 24 organismos con sede en Bangkok, París, Roma, Viena, Ginebra, Nueva York y Washington en el marco de una encuesta llevada a cabo por el UNIFEM en febrero de 1994 a petición del Grupo de Estudio de la Comisión de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, de las Naciones Unidas. La encuesta trató los siguientes puntos: la política interna en cuanto al papel de la mujer en la ciencia y la tecnología; los mecanismos de ejecución y evaluación de los programas en este campo; los tipos de actividades emprendidas (con ejemplos concretos del enfoque adoptado); las relaciones entre los organismos de las Naciones Unidas y entre éstos y las organizaciones no gubernamentales; y los planes en materia de igualdad entre los sexos en la ciencia y la tecnología en la Cuarta Conferencia Mundial sobre la Mujer y ulteriormente.

Se acumuló un volumen de información considerable, pues la mayoría de los organismos pudieron presentar varios ejemplos de las actividades que habían llevado a cabo. Sin

embargo, al tratarse de la política interna, las respuestas hablan con frecuencia en términos vagos de mejorar el acceso de la mujer a la tecnología o de las jóvenes a la educación científica, o indican que no se ha decidido nada al respecto. Además, aunque muchos organismos están convencidos de que todos sus programas de ciencia y tecnología benefician a hombres y a mujeres por igual, rara vez sus sistemas de supervisión y evaluación dan prueba de ello. En su mayor parte opinan que unos sistemas más eficaces nos permitirían medir realmente los progresos realizados en este campo.

Por lo que se refiere a los tipos de actividad, la mayoría de los proyectos siguen en la línea tradicional de difusión de tecnologías entre agricultoras y empresarias, y de mejoramiento del acceso de la mujer a la enseñanza científica y técnica y al sector formal de la ciencia y la tecnología, pero se observa un interés creciente por las actividades de promoción de los conocimientos técnicos indígenas de las mujeres, de realce del papel de las mujeres que innovan y de fomento de las relaciones entre las profesionales de la ciencia y la ingeniería y las mujeres de las zonas rurales. Se trata de una tendencia importante que puede seguir preconizándose en Beijing en el marco del Pabellón «Once and Future» y el Foro de las organizaciones no gubernamentales.

Habida cuenta del gran volumen de información que existe en los distintos organismos y del interesante trabajo que se lleva a cabo en muchas organizaciones no gubernamentales, sería muy útil compartir las experiencias. Los organismos de las Naciones Unidas ya han recibido el informe de la encuesta y muchos están intensificando la colaboración con la red «Once and Future Action Network» (OFAN) para la planifica-

evaluación y con el equipo de estadísticas de cada organismo de las Naciones Unidas para acopiar sistemáticamente datos desglosados por sexo. Las organizaciones deberían colaborar entre sí para aplicar métodos comunes.

2. Las organizaciones de las Naciones Unidas deberían ajustarse de manera activa a las recomendaciones que

ción del Pabellón sobre ciencia y tecnología. Es de esperar que esta experiencia de trabajo en común sobre el papel de las mujeres en la ciencia y la tecnología cree vínculos sólidos y duraderos entre los organismos de las Naciones Unidas y las organizaciones no gubernamentales después de Beijing.

El Grupo de Estudio de la Comisión de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo está elaborando recomendaciones relativas a la necesidad de formular una política interna, establecer mecanismos de evaluación y crear redes e intensificar la contratación de mujeres en los puestos de alto nivel dentro de los distintos organismos. Se espera que estas recomendaciones ayuden a reforzar el trabajo de las Naciones Unidas en esta importante esfera.

Todos los organismos pueden esforzarse más por mejorar el acceso de la mujer a la ciencia y la tecnología. También pueden contribuir en gran medida a promover la idea de una nueva definición, por parte de las mujeres, de las orientaciones generales de la ciencia y la tecnología a fin de que se centren más en el ser humano.

* La Dra. Marilyn Carr es asesora principal sobre la tecnología y el desarrollo de las pequeñas empresas, Fondo de Desarrollo de las Naciones Unidas para la Mujer (UNIFEM), Nueva York.

instan a contratar mujeres profesionales, fijando objetivos y plazos definidos con respecto al nombramiento de mujeres en puestos de alto nivel que revistan una importancia estratégica en ciencia y tecnología. Habría que establecer programas dinámicos de contratación, mantenimiento o reintegración de mujeres especialistas en ciencia y tecnología en esos puestos. Se debería solicitar a las organizaciones que informen periódicamente a sus órganos rectores sobre los progresos logrados y los obstáculos específicos encontrados. A este respecto deberían inspirarse en las experiencias logradas de ciertos organismos, como las del Grupo Consultivo sobre Investigación Agrícola Internacional (GCAI) y la OMS.

3. Sería conveniente que las organizaciones del sistema de las Naciones Unidas incorporaran el análisis y la evaluación por sexo en la elaboración y el control de sus programas y proyectos sobre ciencia y tecnología mediante la utilización de directivas prácticas. Cada organismo tiene su propio mandato y método de elaboración de sus programas y por este motivo el contenido de las directivas debe ser en última instancia adaptado a cada una de ellas, pero una serie de principios generales podría servirles de orientación. Los principios ya elaborados por el UNIFEM podrían utilizarse con este propósito.
4. El sistema de las Naciones Unidas debería crear métodos para investigar, documentar, controlar y evaluar las repercusiones de la especificidad de los sexos en sus programas de ciencia y tecnología, y proporcionar información periódica sobre los resultados y las experiencias obtenidas a sus respectivos órganos rectores. A este respecto las experiencias de la OIT, la ONUDI y el UNIFEM podrían servir para establecer las orientaciones generales que luego se adaptarían a las otras organizaciones. En este proceso, los especialistas en las cuestiones relacionadas con el lugar de la mujer en la ciencia y la tecnología de cada institución deberían trabajar en colaboración con las unidades de control y evaluación.
5. El sistema de las Naciones Unidas debería apoyar plenamente el fortalecimiento y mantenimiento de los métodos informales de creación de redes interinstitu-

Actividades realizadas entre 1993 y 1995 por el Grupo de Estudio sobre las repercusiones de la ciencia y la tecnología sobre las cuestiones relacionadas con los sexos en los países en desarrollo, de la Comisión de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de las Naciones Unidas

OBJETIVO

El Grupo de Estudio, creado en 1993, tiene por misión formular recomendaciones a los gobiernos nacionales para la adopción de medidas en los distintos países y hacer recomendaciones al Consejo Económico y Social sobre las reformas necesarias en el sistema de las Naciones Unidas en materia del papel de la mujer en la ciencia y la tecnología.

DESENVOLVIMIENTO DE LOS TRABAJOS

El presente informe fue preparado por un grupo integrado por ocho miembros de la Comisión, de sexo masculino, y ocho asesoras, tras dos años de reflexión. Doce consultores y más de 17 organizaciones no gubernamentales que se ocupan del papel de la mujer en la ciencia, la tecnología y el desarrollo participaron en los trabajos junto con 24 organismos de las Naciones Unidas. Se invitó a más de 100 instituciones científicas y técnicas de todo el mundo a aportar su contribución en un ambiente de consulta y participación.

CONCLUSIONES FUNDAMENTALES

■ **Desigualdades por razón de sexo en la educación y las carreras de ciencia y tecnología**

Existen graves obstáculos para la participación de las niñas y las mujeres en la educación y las carreras científicas y técnicas, y hay un número relativamente escaso de mujeres en los órganos de decisión y los consejos consultivos en la esfera de la ciencia y la tecnología.

■ **Diferente influencia del cambio tecnológico, según los sexos**

El cambio tecnológico destinado a beneficiar a la población de las zonas rurales de los países en desarrollo parece haber beneficiado más a los hombres que a las mujeres.

El análisis del Grupo de Estudio se ha basado en la premisa de que el desarrollo plantea problemas diferentes según los sexos. Esto supone que las mujeres y los hombres tienen funciones y responsabilidades diferentes y realizan tareas distintas. Para garantizar que la ciencia y la tecnología beneficie a todos los miembros de la sociedad, se

debe prestar atención de forma equitativa a las necesidades e intereses respectivos de hombres y mujeres.

■ **Medidas modificatorias**

Se definieron siete cuestiones respecto de las cuales era necesario y factible adoptar «medidas modificatorias», y se establecieron listas de medidas posibles. Esas siete cuestiones fueron las siguientes:

1. Equidad entre el hombre y la mujer en la educación científica y tecnológica.
2. Eliminación de los obstáculos con que tropiezan las mujeres en las carreras científicas y tecnológicas.
3. Respuesta de la ciencia a las necesidades de la sociedad: cuestiones relacionadas con los sexos.
4. Mayor sensibilidad a las cuestiones relacionadas con los sexos en la adopción de decisiones sobre ciencia y tecnología.
5. Mejor relación con los sistemas locales de adquisición de conocimientos.
6. Las cuestiones éticas en la ciencia y la tecnología: cuestiones relacionadas con los sexos.
7. Mejoramiento de la recopilación de datos desglosados por sexo destinados a los encargados de la formulación de políticas.

■ **Declaración de intenciones.** Se formuló una «declaración de intenciones» en la que se establecieron seis metas para lograr la equidad en materia de ciencia y tecnología, y se invitó a todos los gobiernos a que suscribieran esta declaración y establecieran comités especiales para elaborar planes de acción nacionales con miras a su aplicación.

EL EXAMEN EN LAS NACIONES UNIDAS

Un amplio examen del funcionamiento de las Naciones Unidas en cuanto a las cuestiones relacionadas con los sexos, la ciencia y la tecnología, dio lugar a un conjunto de recomendaciones que se transmitirían al Consejo Económico y Social.

cionales sobre las cuestiones relacionadas con la mujer en la ciencia y la tecnología. La Comisión de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo tendría que colaborar con esas redes de manera permanente para asegurar que se tengan en cuenta estos problemas y se genere un apoyo mutuo para el logro de los objetivos. Del mismo modo, las organizaciones deberían explorar diferentes métodos de comunicación internos e interinstitucionales, por ejemplo una red electrónica sobre el lugar de la mujer en la ciencia y la tecnología, que podría estar conectada a la red existente de organizaciones no gubernamentales.

6. Las organizaciones del sistema de las Naciones Unidas que trabajan en relación con la ciencia y la tecnología deberían incorporar el análisis de la especificidad de los sexos en todos sus programas ordinarios y aumentar los créditos del presupuesto ordinario asignados a las unidades que se ocupan de esta cuestión. Las organizaciones especializadas en asuntos técnicos deberían fomentar la contratación de personal capacitado en la materia

y solicitar que todo el personal reciba formación al respecto para que el lugar de la mujer en la ciencia y la tecnología se tenga siempre en cuenta en los programas de trabajo ordinarios.

7. El sistema de las Naciones Unidas debería reconocer la importancia de la colaboración con las organizaciones no gubernamentales y fortalecer las formas de colaboración oficial con las mismas y el apoyo que se brindan mutuamente con respecto a la elaboración de políticas, la creación, la ejecución y la evaluación de los programas de cooperación técnica. Se podrían estudiar los modelos como los elaborados por el GCIAT y el ACNUR para detectar en ellos soluciones posibles para cada organismo. Se deberían establecer relaciones con las organizaciones no gubernamentales (actualmente más de 650) que participan activamente en las cuestiones relacionadas con la mujer en la ciencia y la tecnología. Habría que prestar apoyo a la red «Once and Future Action» y los centros de coordinación de las Naciones Unidas deberían participar en sus actividades.

Las organizaciones no gubernamentales: la red «Once and Future Action»

JOSEPHINE BEOKU-BETTS*

Los esfuerzos de las organizaciones no gubernamentales para sensibilizar al público respecto de las cuestiones del género en la ciencia y la tecnología se intensificaron durante el decenio pasado. Estos grupos, cada vez más sensibles a los efectos de la reestructuración económica mundial, de la rapidez del progreso técnico, de la persistencia de la pobreza y de la degradación general del medio ambiente, y que comprenden tanto organismos de ayuda al desarrollo comunitario como asociaciones profesionales de mujeres científicas, cuestionan los modelos de desarrollo actuales y preconizan una ética y programas y métodos de desarrollo totalmente nuevos.

Muchas organizaciones no gubernamentales competentes consideran que todavía no se han satisfecho las necesidades de la mayoría de las mujeres del mundo, aunque en varias conferencias mundiales se ha reconocido la importancia de la ciencia y la tecnología en sus vidas. A pesar de que se han realizado algunos progresos, los prejuicios sociales que pretenden que las mujeres no son competentes en materia de ciencia y tecnología impiden que las necesidades de la mujer se tomen cabalmente en cuenta en la preparación y ejecución de los programas. Como se sigue considerando que las mujeres son beneficiarias pasivas de la ciencia y la tecnología, no se ha reconocido ni se ha atribuido valor a la abundancia de conocimientos científicos y tecnológicos (formales y no formales) producidos por ellas que contribuyen al bienestar social y ambiental. Debido a ello, los recursos destinados a la investigación y el desarrollo en las esferas de la producción y elaboración de alimentos, el suministro de agua en zonas rurales y las fuentes de energía renovable, todas cuestiones de gran importancia para las mujeres, siguen siendo extremadamente insuficientes. Otras preocupaciones importantes son las escasas oportunidades de formación (formal y no formal), de empleo y de funciones directivas que se ofrecen a las mujeres en los campos de la ciencia y la tecnología. Las organizaciones no gubernamentales interesadas ponen en tela de juicio estos enfoques del desarrollo y tratan de suscitar la adopción de enfoques de práctica científica más holísticos, mejor centrados en el ser humano y más respetuosos del medio ambiente. Procuran poner de relieve los conocimientos científicos y técnicos de las mujeres indígenas y de fomentar un entorno en el que las mujeres podrían participar activamente en la conceptualización y elaboración de estrategias de desarrollo de la ciencia y la tecnología.

En 1992, el UNIFEM y el Centro de la Tribuna Internacional de la Mujer empezaron a ponerse en contacto con orga-

nizaciones y personalidades que se ocupan del papel de la mujer en la ciencia y la tecnología con miras a definir una estrategia que haga hincapié en la ciencia y la tecnología durante la Cuarta Conferencia Mundial sobre la Mujer organizada en Beijing, China, en 1995. Estos organismos estimaron que convenía aprovechar la excepcional oportunidad que ofrecía la Conferencia y el Foro de organizaciones no gubernamentales paralelo para convertir estas cuestiones en uno de los temas de reflexión principales en el campo del desarrollo de la mujer a fin de influir en la «Plataforma de Acción» de 1995 (el principal documento de orientación aprobado por los Estados Miembros de las Naciones Unidas para promover el mejoramiento de la situación de la mujer).

La red «Once and Future Action Network» (OFAN), que agrupa a más de 40 organizaciones internacionales no gubernamentales que se ocupan del lugar de la mujer en la ciencia y la tecnología, nació a raíz de esta iniciativa. Sus objetivos son los siguientes:

- Promover la igualdad de acceso de las jóvenes y mujeres en el campo de la ciencia y la tecnología, en particular favoreciendo su alfabetización e iniciación a la ciencia y su formación tecnológica a todos los niveles, y procurando que puedan desempeñar un papel en este ámbito a lo largo de su vida.
- Reconocer el valor de las competencias y los conocimientos especializados existentes y promover las relaciones entre la ciencia oficial y los conocimientos locales de las mujeres indígenas.
- Fortalecer los papeles desempeñados por las mujeres a fin de que puedan orientar la redistribución de los recursos asignados a la investigación y a la práctica científicas y tecnológicas y volver a evaluar las tendencias, las metas y la ética de la investigación y el desarrollo.
- Suscitar un cambio social creando un entorno que permita compartir y explotar plenamente los frutos del saber científico y tecnológico femenino como patrimonio común de todos.

La OFAN está formada por entidades que van de asociaciones profesionales de científicas a organizaciones dedicadas al desarrollo que trabajan con mujeres de zonas rurales. Entre sus asociaciones profesionales figuran la TWOWS (Organización de Científicas del Tercer Mundo), la AWIS (Asociación de Mujeres Científicas), la IFIAS (Federación Internacional de Institutos para Estudios Avanzados), GASAT (Gender and Science and Technology), la CWAST (Asociación de Mujeres

Chinas dedicadas a la Ciencia y la Tecnología), la JSST (Asociación Jamaicana de Ciencia y Tecnología), la IFIA (Federación Internacional de Asociaciones de Inventores), la WWVA (Asociación Mundial de Mujeres Veterinarias) y la AAAS (Asociación Estadounidense para el Progreso de la Ciencia). Dentro de la categoría de organizaciones dedicadas al desarrollo de la OFAN figuran el IT (Intermediate Technology Group), Approtech Asia, ATI (Appropriate Technology International), la Oficina de Energía y Medio Ambiente de la WCA, el CTIM (Centro de la Tribuna Internacional de la Mujer), TOOL (Transferencia de Tecnología para el Desarrollo) y la WEDO (Women's Environment and Development Organization). También son miembros activos de la OFAN una serie de organismos regionales e internacionales que participan en la formulación e instauración de las políticas relativas al papel de la mujer en la ciencia y la tecnología, como UNIFEM, UNESCO, ONUDI, el Grupo Consultivo sobre Investigación Agrícola Internacional (CGIAR), el Foro de Mujeres Africanas Especialistas en Pedagogía (FAWE) y el Programa de Liderazgo de las Mujeres Africanas de Winrock International.

Aunque la experiencia y los recursos de que disponen todos los miembros de la OFAN ofrecen un marco sólido para fomentar de manera tangible las concepciones de la red, algunas organizaciones no gubernamentales ya se ocupaban de la ciencia y la tecnología a nivel institucional y a nivel no formal antes de que existieran esta red y otras agrupaciones similares. Por ejemplo, la IFIAS, la TWOWS, la WWVA y Approtech Asia han creado bases de datos y directorios de mujeres dedicadas a la ciencia y la tecnología, mientras el IT, la IFIAS y la WWVA han estudiado las innovaciones científicas introducidas por mujeres en el sector no formal. Igualmente, asociaciones científicas como GASAT, la AAAS y el FAWE han estudiado los obstáculos y limitaciones que dificultan el acceso de las mujeres al sector de la ciencia y que impiden que las mujeres que trabajan en él asciendan a puestos de responsabilidad. Algunas asociaciones científicas de Filipinas, Ghana y Estados Unidos han hecho también hincapié, mediante conferencias, campamentos de verano y ferias científicas, en la importancia de que las jóvenes científicas dispongan de modelos de identificación y de consejos de colegas más experimentados. Por último, algunos organismos de ayuda al desarrollo, como el CTIM (Centro de la Tribuna Internacional de la Mujer) y la Oficina de Energía y Medio Ambiente de la YWCA vienen trabajando activamente desde hace varios años a fin de desmitificar y vulgarizar la ciencia

y la tecnología a través de sus publicaciones y programas de formación.

La red «Once and Future Action Network» ha adoptado varias estrategias a largo y corto plazo con miras a animar a sus miembros a colaborar, a fortalecer sus capacidades e iniciar campañas de promoción. La encuesta UNIFEM/CTIM de 1992, cuyo objetivo era determinar qué organizaciones participaban en actividades relativas al papel de la mujer en la ciencia y la tecnología, permitió publicar un repertorio titulado «Who's doing what in Science and Technology», que ha servido de guía e instrumento para la creación de la red. Las Naciones Unidas solicitaron igualmente las competencias de los distintos miembros de la OFAN para que éstos expresaran su opinión sobre las repercusiones de la ciencia y la tecnología sobre las cuestiones relacionadas con los sexos en el marco de la elaboración de la Plataforma de Acción. Se organizaron talleres sobre la ciencia y la tecnología durante las reuniones preparatorias de la Conferencia, y también consultas con organizaciones no gubernamentales a nivel regional e internacional. La red OFAN ha logrado que estos problemas se consideren prioritarios en algunos planes de acción regionales, en particular en la región de África. Además, publica un boletín informativo trimestral, participa en teleconferencias y organiza reuniones con grupos que tienen intereses similares en las comunidades locales.

La Cuarta Conferencia Mundial sobre la Mujer y el Foro de organizaciones no gubernamentales paralelo de Beijing constituirán una ocasión para que la red ponga de relieve su concepción de un enfoque de la ciencia y la tecnología que respete más el medio ambiente y se centre mejor en el ser humano mediante un acto llamado Pabellón del Pasado y el Futuro («Once and Future Pavilion»), organizado en el marco del Foro. El Pabellón será un acontecimiento interactivo que dará a conocer una amplia gama de actividades resaltando las contribuciones posibles de la mujer a una nueva orientación de la ciencia y la tecnología, y a la definición de nuevas prioridades en este sector. Será una tribuna en la que se podrán plantear cuestiones y lanzar desafíos, crear vínculos, compartir ideas y estrategias y poner en marcha un proceso de definición de una nueva concepción que pueda ponerse en práctica de manera innovadora a nivel local, regional e internacional después de Beijing.

* Josephine Beoku-Betts es coordinadora de la «Once and Future Action Network» (OFAN).

Las mujeres, la ciencia y la tecnología en Internet

BEV CHATAWAY*

Las fuentes de información que pueden obtenerse a través de Internet y las demás redes electrónicas están aumentando a un ritmo prodigioso. Entre los servicios relativos al lugar de la mujer en la ciencia y la tecnología que se proponían en abril de 1995 figuran:

MENSAJERÍAS

Los abonados que deseen participar en intercambios entre expertos de todo el mundo que compartan los mismos intereses pueden conectarse a distintas mensajerías internacionales:

EDUCOM-W es una lista de difusión moderada centrada en aspectos de la tecnología y la educación que interesan a las mujeres. Pueden enviar las solicitudes de suscripción a:

listserv@bitnic.educom.edu

FIST es una lista de difusión libre donde se discute acerca de las relaciones entre el feminismo y la ciencia y la tecnología. Pueden enviar las solicitudes de suscripción a:

listserv@dawn.hampshire.edu

WISENET es una lista de difusión sobre temas relativos a la mujer en la ciencia, las técnicas de la ingeniería y las matemáticas. Pueden enviar las solicitudes de suscripción a:

listserv@uicvm.uic.edu

WITI es una lista de difusión de la International Network of Women in Technology. Pueden enviar las solicitudes de suscripción a:

witi@cup.portal.com

SERVIDORES DE DATOS

Los abonados pueden utilizar una gama creciente de servidores de datos en Internet:

■ Las mujeres en la tecnología

La International Network of Women in Technology (Red Internacional de las Mujeres dedicadas a la Tecnología) es una asociación profesional de mujeres que representan distintas disciplinas dentro de organismos tecnológicos. Este servidor propone en particular informaciones sobre WITI, su organización y sus conferencias.

<http://www.careermosaic.com/cm/witi>

■ Women in Sciences and Engineering (Las mujeres en la ciencia y la ingeniería)

Este servidor propone una «Women in Sciences Reading Room» con referencias sobre las mujeres en la ciencia desde la antigüedad hasta nuestros días.

<http://tweedledee.ucsb.edu/kris/wis.html>

■ Las mujeres y las minorías en las ciencias y las técnicas de ingeniería

Propone listas de organismos, de otros servidores de datos y de documentos en versión íntegra sobre este tema.

http://www.a1.mit.edu/people/ellens/gender/wom_and_min.html

■ Organizaciones que alientan a las mujeres que trabajan en la ciencia y la ingeniería

El Comité sobre la Mujer en la Ciencia y la Ingeniería (CWSE) del Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos se reunió por primera vez en 1991. Este servidor propone una «lista de las organizaciones que agrupan a mujeres científicas y/o se dirigen a ellas en los Estados Unidos».

<http://xerxes.nas.edu:70/1/cwse>

■ Women in Science Project (Proyecto sobre la Mujer en la Ciencia), Dartmouth College

El objetivo de este proyecto es incitar a perseverar a las jóvenes interesadas en la ciencia.

<http://mmm.dartmouth.edu/pages/wiskit.html>

* Bev Chataway es Directora de los Servicios de Investigación de Información del Centro Canadiense de Investigaciones para el Desarrollo Internacional (IDRC).

Las autoras confían en que los análisis, informaciones generales y resúmenes de problemas de fondo que se presentan, que son necesariamente breves y muy selectivos, estimulen el debate y promuevan estudios y actividades sobre estas urgentes cuestiones.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen especialmente a la Dra. Beatriz Ruivo su participación en el desarrollo de la concepción de una sección especial sobre las mujeres en la ciencia en el *Informe Mundial sobre la Ciencia*, y a la Dra. Farkhonda Hassan sus valiosos consejos durante la elaboración de esta sección.

Los autores desean también dar las gracias a las personas siguientes por la ayuda prestada en la preparación de esta sección. Agradecen especialmente a Ioanna Sahas, Lisa Littlefield, Tanya Padburg, Deepika Grover y Geeta Narayan las largas horas que dedicaron a investigaciones y análisis. También se agradecen las contribuciones individuales de Catherine Hill, Perpetua Kalala, Angela Pascari, Fabiola Bazo y Rosa Chiombola.

Sandra Harding es profesora de filosofía y estudios sobre la mujer de la Universidad de Delaware y de la Universidad de California, Los Angeles. Es autora y directora de publicación de siete libros y de más de 50 artículos y capítulos, como *The Science Question in Feminism* (1986), *Sex and Scientific Inquiry* (1987), y *The 'Racial' Economy of Science: Toward a Democratic Future* (1993). La Dra. Harding ha sido profesora visitante en la Universidad de Amsterdam, la Universidad de Costa Rica y el Instituto Federal Suizo de Tecnología de Zurich.

Elizabeth McGregor es Directora de Estudios del Grupo de Estudio de la Comisión de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, de las Naciones Unidas, y Analista Principal en materia de políticas del Consejero Científico del Presidente en el Centro Canadiense de Investigaciones para el Desarrollo Internacional. De 1991 a 1993 fue Directora del Grupo de Estudio Nacional Canadiense para la Competencia Científica y Tecnológica. Después de haber realizado trabajos sobre el terreno en América del Sur fue destinada a la sede de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación en el decenio de 1970. Volvió a emprender estudios de veterinaria antes de desempeñar el cargo de Directora de Programas Internacionales en el Colegio Veterinario de Ontario, y más tarde trabajó en cuestiones de política para el Gobierno canadiense. La Dra. McGregor fundó la Asociación Mundial de Mujeres Veterinarias, organización internacional no gubernamental que trabaja en proyectos de política y de terreno sobre la actividad de las mujeres y los niños en la agricultura. En 1993 recibió un premio de distinción de la Asociación Americana de Mujeres Veterinarias. Actualmente trabaja en el consorcio de planificación de las organizaciones no gubernamentales sobre ciencia y tecnología para la Cuarta Conferencia Mundial sobre la Mujer de 1995.

BIBLIOGRAFÍA

- AAAS (1993), *Science in Africa: Women Leading from Strength*, Informe del Foro organizado por la Asociación Estadounidense para el Progreso de la Ciencia (AAAS), Programa para el África Subsahariana, Washington, D.C., mayo de 1993.
- AAC (1986), Association of American Colleges, 1918 R. Street, NW, Washington, D.C. 20009.
- Abdus Salam, A. (1990), *Building Science and Technology Capacity in the South: A Blueprint*. Ponencia presentada en la tercera Conferencia General de la Academia de Ciencias del Tercer Mundo, Caracas, Venezuela, octubre de 1990.
- Abir-Am, P. G. y Outram, D. (dirs. de la pub.) (1987, 1989), *Uneasy Careers and Intimate Lives: Women in Science, 1789-1979*, New Brunswick y Londres, Rutgers UP.
- Acker, J. (1992), Gendered institutions: from sex roles to gendered institutions, *Contemporary Sociology*, N.º 21, págs. 565-569.
- Alper, J. (1993), The pipeline is leaking women all the way along, *Science*, N.º 260.
- Approtech (1993) (Approtech-Asia y WISE-Tailandia), *Mainstreaming Women in Science and Technology*, Informe del Simposio internacional sobre el papel de la mujer en el desarrollo y la transferencia de la ciencia y la tecnología, Tailandia, julio de 1992. Asian Alliance of Appropriate Technology Practitioners (Approtech-Asia) y Women in Science and Engineering Forum of Thailand (WISE-T).
- Australia (1994), *Women in Science, Engineering and technology. A discussion paper*, preparado por el Women in Science, Engineering and Technology Advisory Group, Canberra, septiembre de 1994.
- Banco Mundial (1993), *Informe sobre el Desarrollo Mundial: Invertir en Salud*. Banco Mundial (1993), Washington, Banco Mundial.
- Barinaga, M. (1992), The pipeline is leaking, *Science*, N.º 255, págs. 1366-1367.
- (1993), Is there a «female style» in science?, *Science*, N.º 260, abril, págs. 384-391.
- Belenky, M. F. et al. (1986), *Women's Ways of Knowing: the Development of Self, Voice, and Mind*, Nueva York, Basic Books.
- BOSTID (1994), *Barriers Faced by Developing Country Women Entering Professions in Science and Technology (1994)*, informe del taller patrocinado por el Board on Science and Technology for International Development (BOSTID), Consejo Nacional de Investigación, Washington, marzo.
- Bumiller, E. (1990), *May You Be the Mother of a Hundred Sons*. Nueva Delhi, Penguin.
- Canadá (1988), *Participation of Women in Science and Technology*, Informe del Consejo Consultivo Nacional de Ciencia y Tecnología (NABST) presentado al Primer Ministro.
- Canadá (1993), *Winning with Women in Trades, Technology, Science, and Engineering*, Informe del Consejo Consultivo Nacional de Ciencia y Tecnología, Comité de Recursos Humanos, presentado al Primer Ministro, Ottawa, enero.
- Canadian Committee on Women in Engineering (1992), *More Than Just Numbers*, Informe del Canadian Committee on Women in Engineering, abril.
- CGIAR (1994), Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional, *Research Partners in Selection: Bean Breeders and Women Bean Experts in Rwanda*, publicación de la Secretaría del CGIAR, Washington, D.C., 20433, Estados Unidos, octubre de 1994.
- Collins, P. H. (1991), *Black Feminist Thought: Knowledge, Consciousness and the Politics of Empowerment*, Nueva York, Routledge.
- Comisión Europea (1993), *Women in Science*, Informe del Taller Internacional, Bruselas, 15-16 de febrero de 1993.
- Commonwealth (Secretaría de los Países del) (1992), *Girls and Women in Science: Science and Technology Roadshow*, Informe y Manual auspiciados por la Secretaría del Commonwealth.
- Connell, R. W. (1985), Theorizing gender, *Sociology*, N.º 19, págs. 260-272.
- Cook, J. y Fonow, M. M. (dir. de la pub.) (1991), *Beyond methodology: Feminist Scholarship as Lived Research*, Bloomington, IN: Indiana University Press.
- CSIR (1981), (Council for Scientific and Industrial Research), *Degree Holders and Technical Personnel Survey, Census 1981*. Vol. 1: All India, Nueva Delhi.
- Dauber, R. y Cain, M. L. (dir. de la pub.) (1981), *Women and Technological Change in Developing Countries*, Boulder, Westview Press.
- Davies, M. (dir. de la pub.) (1987), *Third World Second Sex 2*, Londres, Zed Books.
- De Pietro-Jurand, R. (1994), *Women's Access to Higher Education: a Review of the Literature*, Departamento de Educación y Política Social, Banco Mundial.
- DST (1980) (Ministerio de Ciencia y Tecnología, Gobierno de la India), *Employment Pattern of Women in R & D Organisations: A Statistical Analysis*, Nueva Delhi.
- Ellis, P. (1990), *Measures Increasing the Participation of Girls and Women in Technical and Vocational Education and Training: A Caribbean Study*, Secretaría de los Países del Commonwealth, Londres, en cooperación con la Caribbean Association for Technical and Vocational Education and Training, Nassau.
- Etzkowitz, H. et al. (1994), The paradox of critical mass for women in science, *Science*, N.º 266 (5182), párrs. 51-54.
- FAO (1979), *Conferencia Mundial sobre Reforma Agraria y Desarrollo Rural*, Informe final, Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, julio.

- Faruqi, A. M., Hassan, A. H. A. y Sandu, G. (1991), *The Role of Women in the Development of Science and Technology in the Third World*, Actas de la Conferencia organizada por el Organismo Canadiense de Desarrollo Internacional y la Academia de Ciencias del Tercer Mundo, Trieste, Italia, octubre de 1988, Singapur, World Scientific.
- Fausto Sterling, A. (1985, 1994), *Myths of Gender: Biological Theories About Women and Men*, Nueva York, Basic Books.
- Gobierno de la India (1981), *Census of India, 1981, Series I-India, Part IV-A: Social and Cultural Tables*, Nueva Delhi.
- Goonatilake, S. (1984), *Aborted Discovery: Science and Creativity in the Third World*, Londres, Zed Books.
- GWG-UNCSTD (1995a) (Grupo de Estudio de la Comisión de las Naciones Unidas de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo), *Missing Links: Gender in Science and Technology*, IDRC, IT Publications y UNIFEM.
- (1995b), *Science and Technology for Sustainable Human Development: The Gender Dimension*, Informe presentado a la Comisión de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de las Naciones Unidas.
- Hall, R. M. (1982), *The Classroom Climate: A Chilly One for Women?* Project on the Status and Education of Women, Association of American Colleges (1818 R. Street, NW, Washington, D.C., 20009).
- Haraway, D. J. (1989), *Primate Visions: Gender, Race and Nature in the World of Modern Science*, Nueva York, Routledge.
- Harding, S. (1986), *The Science Question in Feminism*, Ithaca, N. Y., Cornell University Press.
- (dir. de la pub.), (1987) *Feminism and Methodology: Social Science Issues*, Bloomington, IN, Indiana University Press.
- (1991), *Whose Science? Whose Knowledge? Thinking From Women's Lives*, Ithaca, N. Y., Cornell University Press.
- (1992), *After the neutrality ideal: science, politics and 'strong objectivity'*, *Social Research*, N.º 59, págs. 567-587.
- (Dir. de la pub.) (1993), *The 'Racial' Economy of Science: Toward a Democratic Future*, Bloomington, IN., University of Indiana Press.
- (1994), *Is science multicultural? Challenges, resources, opportunities, uncertainties*. En Configuration 2:2 y en Goldberg, D. T. (dir. de la pub.), *Multiculturalism: A Reader*, Londres, Blackwell's.
- y O'Barr, J. (dir. de la pub.) (1987), *Sex and Scientific Inquiry*, Chicago, Chicago University Press.
- Hill, C. y Appleton, H. (1994), número especial sobre los conocimientos autóctonos femeninos y los conocimientos autóctonos sobre las diferencias entre los sexos en *Indigenous Knowledge and Development Monitor*, diciembre de 1994.
- Hubbard, R. (1990), *The Politics of Women's Biology*, New Brunswick, N. J., Rutgers University Press.
- IDRC, WWVA (1994), *Gender in Science and Technology for Sustainable and Equitable Development: A Guide to Issues, Networks and Initiatives*, Vol. 1 y 2, IDRC, Ottawa.
- Johnson, J. M. (1994), *International Comparisons of Women in Higher Education in Science and Engineering*. Ponencia presentada en la conferencia anual de la Comparative and International Education Society, 21-24 de marzo de 1994, San Diego, CA.
- Jones, M. G. y Wheatley, J. (1990), *Gender differences in teacher-student interactions in science classrooms*, *Journal of Research in Science Teaching*, N.º 27, págs. 861-874.
- Kanter, R. M. (1977), *Men and Women of the Corporation*, Nueva York, Basic Books.
- Keller, E. F. (1985), *Reflections on Gender and Science*, New Haven, Yale University Press.
- (1992), *Secrets of Life, Secrets of Death: Essays on Language, Gender and Science*, Nueva York, Routledge.
- Kettel, B. (1994), *Key Pathways for Science and Technology for Sustainable and Equitable Development*. Documento preparado para el Grupo de Estudio de la Comisión de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de las Naciones Unidas.
- King, E. M. (1990), *Educating Girls and Women: Investing in Development*, Banco Mundial.
- Koblitz, A. M. (1993), *Women under Perestroika and Doi Moi: A comparison of Marketization in Russia and Vietnam*. Ponencia presentada en la reunión de noviembre de 1993 de la Asociación Estadounidense para el Progreso de la Ciencia.
- Lloyd, G. (1984), *The Man of Reason: 'Male' and 'Female' in Western Philosophy*, Minneapolis, University of Minnesota Press.
- Lorber, J. y Farrell, S. A. (dir. de la pub.) (1991), *The Social Construction of Gender*, Newbury Park, CA, Sage Publications.
- Makhubu, L. P. (1993), *The Potential Strength of African Women in Building Africa's Scientific and Technological Capacity*, discurso de apertura, *Science in Africa, Women Leading from Strength*, AAAS, Washington, D.C.
- Malcolm, S. M., Moriat-Lou, H., Boulware, P. A., y Burens, S. M. (1985), *Science Technology and Women: A World Perspective*, AAAS, Washington, D.C.
- Merchant, C. (1980), *The Death of Nature: Women, Ecology and the Scientific Revolution*, Nueva York, Harper and Row.
- Mills, A. J. y Tancred, P. (dir. de la pub.) (1991), *Gendering Organizational Theory*, Londres, Sage.
- Mitter, S. (1994), *What women demand of technology*, *New Left Review*, N.º 205, págs. 100-112.
- Naciones Unidas (1986a), *Compendium of Statistics and Indicators on the Situation of Women*, Nueva York.
- (1986b), *Estudio Mundial sobre el Papel de la Mujer en el Desarrollo*, Nueva York, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales Internacionales.
- (1989), *Estudio Mundial sobre el Papel de la Mujer en el Desarrollo*, Nueva York, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales Internacionales.

- (1991), *Situación de la Mujer en el Mundo 1970-1990 - Tendencias y Estadísticas*, Naciones Unidas.
- National Science Foundation (1992), *Women and Minorities in Science and Engineering*, Washington, US Government Printing Office.
- Norem, R. H., Yoder, R. y Martin, Y. (1989), Indigenous agricultural knowledge and gender issues in Third World agricultural development, en Warren, D. M., Slikkerveen, L. J. y Titiola, S. O. (dirs. de la pub.), *Indigenous Knowledge Systems: Implications for Studies in Technology and Social Change*: Vol. 11, págs. 91-100, Ames, Iowa State University, Technology and Social Change Program, Estados Unidos.
- Odhiambo, T. (1994), *Redefining Africa's Priorities for the 1990's: an Agenda for a Science-led Development Strategy for Africa*. Ponencia presentada en el Segundo Foro Presidencial, Maputo, Mozambique.
- Oldham, G. (1994), International Scientific Collaboration, ponencia presentada en la Conferencia ORSTOM-UNESCO: Las ciencias fuera de Occidente en el siglo XX, UNESCO, París, septiembre de 1994. Actas publicadas por ORSTOM, París (*Les sciences hors d'Occident au XXe siècle*).
- Osborn, M. (1994), Status and prospects of women in science in Europe. *Science*, N.º 263, pág. 1.391, marzo de 1994.
- Pietila, H. y Vickers, J. (1990), *Making Women Matter: The Role of the United Nations*, Londres, Zed Books.
- PNUD (1990), *Human Development Report 1990*, Nueva York, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Proctor, R. N. (1991), *Value-Free Science? Purity and Power in Modern Knowledge*, Cambridge, Harvard University Press.
- Reino Unido (1993a), *Realizing Our Potential: A Strategy for Science and Technology*, Libro Blanco, HMSO.
- (1993b), *The Rising Tide: A Report on Women in Science, Engineering and Technology*, HMSO.
- Rose, H. (1983), Hand, brain and heart: a feminist epistemology for the natural sciences, en *Signs*, Vol. 9, N.º 1 (impreso en Harding y O'Barr, 1987).
- Rosser, S. V. (1986), *Teaching Science and health From a Feminist Perspective*, Oxford, Pergamon Press.
- Rosser, M. W. (1982), *Women Scientists in America, Struggles and Strategies to 1940*, Baltimore, The Johns Hopkins Press.
- Sadker, M. y Sadker, D. (1994), *Failing at Fairness: How America's Schools Cheat Girls*, Nueva York, Scribner and Sons.
- Sandler, B. R. (1986), *The Campus Climate Revisited: Chilly for Women Faculty, Administrators, and Graduate Students*, Washington, D. C. Association of American Colleges (AAC), (1818 R St. NW., Washington, D.C. 20009).
- Sandhu, R. y Sandler, J. (1986), *The Tech and Tools Book: A Guide to Technologies Women are Using Worldwide*, Londres, International Women's Tribune Centre/IT Publications.
- Schiebinger, L. (1993), *Nature's Body: Gender in the Making of Modern Science*, Boston, Beacon Press.
- Science* (1992), Women in science, número especial de *Science*, 255, marzo de 1992.
- (1993), Women in science 1993 - gender and culture, *Science*, N.º 260, págs. 383-430.
- (1994), Women in science 1994 - comparison across cultures, *Science*, N.º 263 (11 de marzo de 1994), págs. 1.467-1.496.
- Seager, J. (1993), *Earth Follies: Coming to Feminist Terms with the Global Environmental Crisis*, Nueva York, Routledge.
- Sen, G. (1982), Women workers and the green revolution, en Bernieria., L. (dir. de la pub.) *Women and Development: The Sexual Division of Labor in Rural Societies*, Nueva York, Praeger, págs. 29-64.
- y G. Grown, C. (1987), *Development, Crises and Alternative Visions: Third World Women's Perspectives*, Nueva York, Monthly Review Press.
- Shiva, V. (1988), *Staying Alive: Women, Ecology and Development* (publicado originalmente por Kali for Women), Londres, Zed Press.
- Tannen, D. (1991), *You Just Don't Understand. Women and Men in Conversation*, Ballantine Books.
- Traweek, S. (1988), *Beamtimes and Lifetimes: The World of High Energy Physicists*, Cambridge, MA, Harvard University Press.
- UNESCO (1993), *Foro Internacional para una Alfabetización en Ciencia y Tecnología para Todos (Proyecto 2000+: Fase 2), Declaración*, París, UNESCO.
- UNESCO (1994), *Anuario Estadístico 1978-1979*, París, UNESCO.
- UNIFEM (1993a), *Women, Science and Technology: New Visions for the 21st Century*, Informe de la Reunión del Grupo de Expertos, Nueva York, 14-18 de diciembre.
- (1993b), *Action for Agenda 21: An Easy Reference to the Specific Recommendations on Women*, Nueva York, Fondo de Desarrollo de las Naciones Unidas para la Mujer.
- (1994), *Review of UN Agency Activities in the Field of Gender, Science and Technology*, junio de 1994.
- University Grants Commission (1980-1981, 1983-1984, 1992-1993), *Annual Reports, 1980-1981, 1983-1984, 1992-1993*, Nueva Delhi.
- Wajcman, J. (1991), *Feminism Confronts Technology*, University Park, Penn State Press.
- Zuckerman, H., Cole, J. R. y Bruer, J. T. (dirs. de la pub.), *The Outer Circle: Women in the Scientific Community*, New Haven, Yale University Press.

Las mujeres en la investigación científica moderna: reseña histórica

PNINA G. ABIR-AM

Si «la ciencia es la forma de conocimiento de la sociedad industrial», como dijo un destacado antropólogo, la situación marginal de las mujeres en las ciencias, desde la revolución científica del siglo XVII hasta la revolución de la información y la biotecnología de finales del siglo XX, puede proporcionar esclarecimientos esenciales sobre el orden social cada vez más internacional de la sociedad moderna. Es cierto que la ciencia ha sido considerada frecuentemente como uno de los motores más importantes de la modernidad. Pero si las mujeres, esto es, la mitad de la población, siguen teniendo una representación insuficiente en la ciencia, ¿podemos concluir que la igualdad sexual en la ciencia es sólo una cuestión de posmodernidad?

¿Cuáles son las consecuencias de cuatro siglos de exclusión casi total de las mujeres de la ciencia para las relaciones entre la ciencia y la sociedad y las relaciones entre los hombres y mujeres, continuamente legitimadas en nombre de la indiscutible hegemonía cultural de la ciencia?

¿Cómo puede la ciencia sostener que ha sido una institución singularmente apta para la producción de conocimiento objetivo, si sus supuestos conocimientos rara vez han reflejado la concepción del mundo de la mitad de la población, inclusive cuando se encontraban en ella competencias eminentes? ¿Por qué los científicos usan invariablemente el carácter epistemológico privilegiado para difundir una imagen de los papeles de los sexos y de las mujeres que han seguido reforzando la jerarquización de los sexos en el orden social y político en general?

Para responder a estas preguntas es útil examinar el papel de las mujeres en la investigación científica en función de cinco criterios interdependientes: el periodo histórico, la disciplina científica, la nacionalidad, la situación familiar y la conciencia de las diferencias entre hombres y mujeres (Abir-Am y Outram, 1987). Pero en primer lugar hay que recalcar que nuestra percepción de la historia de las mujeres en la ciencia está influenciada no sólo por el papel histórico que han tenido realmente testimonios que subsisten al respecto, sino también por la distribución actual de la conciencia respecto de esa par-

ticipación entre los historiadores de la ciencia, los científicos, los periodistas científicos y otros autores que reflexionan sobre la ciencia. Las percepciones de todas estas categorías de autores están influenciadas además por el predominio relativo de las ideologías multiculturalistas y por la predominancia de una «política de la identidad» (esto es, una política orientada principalmente por cuestiones de clase social o de pertenencia étnica, racial o sexual) en la sociedad civil y en los medios académicos. Esta influencia fue particularmente perceptible en los años ochenta, cuando se emprendió la mayor parte de la investigación académica sobre la función de las mujeres en la ciencia (véase al final del estudio la bibliografía sobre los trabajos más notables escritos en los años ochenta acerca de las relaciones entre las mujeres y la ciencia).

Las iniciativas internacionales en favor de la mujer, por ejemplo el Decenio de las Naciones Unidas para la Mujer: Igualdad, Desarrollo y Paz (1975-1985), en cuyo marco se celebraron conferencias importantes en la ciudad de México (1975), Copenhague (1980) y Nairobi (1985), sensibilizaron en todo el mundo al público y a los medios académicos respecto de la necesidad de una política de igualdad entre los sexos y contribuyeron considerablemente a la producción de un discurso radical sobre las mujeres, las funciones de los sexos y la cultura científica de las sociedades de fines del siglo XX. Como la interacción entre estas diversas fuerzas se produjo con más intensidad y en mayor escala en el contexto de la política interna y la actividad universitaria nacionales de los Estados Unidos de América (Hollinger, 1993), gran parte de la documentación académica actual sobre las mujeres, las relaciones entre los sexos y la ciencia refleja implícita o explícitamente el punto de vista de la experiencia estadounidense. Al mismo tiempo, esta probable fuente de sesgo es contrarrestada por el rápido incremento, también en los años ochenta, en la comunicación internacional de fácil acceso, especialmente el fax y el correo electrónico, gracias a lo cual las fronteras nacionales y las distancias temporales tienen ahora menos importancia.

LOS PERIODOS HISTÓRICOS

La participación de las mujeres en la actividad científica, así como cualquier otro aspecto de esa actividad, ha variado según el periodo histórico, aunque no en una forma lineal o progresiva. En el siglo XVII, periodo en que se estableció la organización social de la ciencia (Ben-David, 1971, 1984), las aristócratas tenían una activa función de protectoras e interlocutoras de muchas de las personalidades eminentes de la filosofía natural. Siguiendo la tradición de las cortes del Renacimiento, las mujeres de la nobleza gobernante compartían la fascinación de ese periodo por la nueva ciencia (Ogilvie, 1986; Schiebinger, 1989). Por ejemplo, la Gran Duquesa Cristina de Toscana se correspondía con Galileo, la Princesa Carolina de Gales se escribía con Leibniz y organizaba sus relaciones en Inglaterra, especialmente su debate con Newton, por intermedio del obispo Clarke; la Reina Cristina de Suecia organizó su Academia de Ciencias con ayuda de su antiguo maestro Descartes. Margaret Cavendish (1623-1673), la primera Duquesa de Newcastle, publicó numerosos tratados científicos (Ogilvie, Schiebinger).

Al mismo tiempo, las academias y sociedades que se convirtieron en centros institucionales de la nueva ciencia tales como la Academia de Ciencias de París y la Royal Society de Londres, excluyeron expresamente a las mujeres, cualquiera que fuese su competencia. Esta exclusión provenía en parte de que las sinecuras que esas instituciones procuraban a sus miembros eran esenciales para esta nueva clase de científicos que pertenecían a la clase media y necesitaban ingresos, y en parte se debía a que la ideología de la nueva ciencia, especialmente como la había definido Francis Bacon, concebía la ciencia como la conquista [actividad masculina] de la naturaleza [femenina] (Merchant; 1980, Keller, 1985; Schiebinger, 1989). La retórica de la ciencia del siglo XVII abunda en metáforas sexuales buscando desplazar las formas materiales y simbólicas de poder social ejercidas por la mujer, que iban desde las cortes y los salones dominados por mujeres hasta diversas «artes» tales como la astronomía, la entomología y la partería. Las mujeres que tenían intereses científicos tenían que

retirarse a academias de mujeres, limitarse a la práctica de «artes» o depender de algún pariente docto para tener acceso a la ciencia (como el caso de Caroline Herschel, 1750-1848, descubridora de ocho cometas, hermana y tía de astrónomos reales británicos).

A pesar de diversas excepciones a lo largo del siglo XVIII tales como la marquesa Emilie du Châtelet (1706-1749), autora de varios libros de física y más conocida como traductora de Newton y colaboradora de Voltaire, o Laura Bassi (1711-1778), profesora de física de la Universidad de Bolonia, el acceso de las mujeres a la práctica de la ciencia seguía siendo un derivado de su situación familiar, por ejemplo la condición de esposas o hijas de hombres de ciencia. Las mujeres trabajaban en actividades de apoyo, como recolectoras, ilustradoras, traductoras y anfitrionas de eventos culturales; hacían todo esto en su hogar, pues en esa época la mayor parte de la ciencia realizada tanto por hombres como por mujeres tenía lugar en un contexto doméstico (Abir-Am y Outram, 1987, Caps. 1 y 2). Las contribuciones científicas de esas mujeres quedaban con frecuencia sumergidas en la producción del hogar, la que generalmente se acreditaba al jefe de familia.

Hacia mediados del siglo XIX se impuso la doctrina de ámbitos separados, lo que tuvo por resultado una dicotomía entre la esfera pública a la cual la ciencia se asociaba cada vez más estrechamente como consecuencia de la creciente profesionalización, y una esfera privada o familiar a la que las mujeres tendían a quedar vinculadas. Más específicamente, la emergencia de la familia como unidad emocional (y no simplemente una unidad jurídica y económica), correspondía al aumento de la esperanza de vida de los hijos y a la expansión de una burguesía en la cual ya no se necesitaba la contribución económica de las mujeres. Estos cambios en la familia y la ideología de clases precipitaron el dilema clásico entre el matrimonio y la carrera de la mujer, subrayando además una supuesta incompatibilidad entre matrimonio y ciencia (*ibid.*, Caps. 3-6).

Pese a que hacia finales del siglo XIX las mujeres lograron algunos éxitos limitados en sus esfuerzos por obtener acceso a la ciencia, la doctrina de los ámbitos separados siguió formando las actitudes sociales y culturales. Las

Foto : © Harlingue-Viollet.



Marie Curie y su hija Irène en su laboratorio de París.

mujeres quedaban exclusivamente asociadas a la esfera privada, justo en el momento en que la ciencia cambiaba su base institucional al dominio público, al mismo tiempo que ocupaba una posición social más prominente. Muchos escritos literarios y científicos abundaron en la supuesta incompatibilidad de las mujeres y las empresas intelectuales. En todo el siglo XIX, la edad de la diferenciación de las disciplinas y de las asociaciones nacionales para el progreso de la ciencia, las mujeres permanecieron al margen de una ciencia cada vez más profesionalizada. Hace relativamente poco tiempo, en 1921, los académicos de la Universidad de Cambridge votaron la exclusión de las mujeres de los diplomas oficiales, situación que prevaleció hasta después de la Segunda Guerra Mundial.

En el último tercio del siglo XIX se produjeron cambios considerables en los modelos de función de las mujeres en la ciencia con la creación de facultades universitarias para mujeres; algunas universidades aceptaron conceder diplomas a las mujeres, especialmente extranjeras que normalmente regresarían a ejercer a sus países de origen (por

ejemplo, en Suiza había una gran cantidad de rusas estudiando medicina [Bonner, 1992], y muchas médicas y fisiólogas estadounidenses cursaban estudios en Francia, Gran Bretaña y Alemania [Rossiter, 1982]). Varias mujeres adquirieron fama en profesiones científicas trabajando en diversas instituciones tales como las facultades femeninas (por ejemplo, la astrónoma María Mitchell [1818-1882] del Vassar College, del Estado de Nueva York), las asociaciones científicas (por ejemplo la antropóloga Clemence Royer [1830-1902], que fue la única mujer miembro de la Sociedad de Antropología de París) y nuevas universidades periféricas (por ejemplo, Sofia Kovalevskaia [1850-1891] fue la primera mujer de los tiempos modernos que obtuvo una cátedra de matemáticas en la Universidad de Estocolmo) (Abir-Am y Outram, 1987, Caps. 7-9). Muchas otras mujeres practicaban disciplinas basadas en la observación tales como la astronomía, la ornitología y la primatología, que todavía aceptaban muchos «aficionados», o campos tales como la botánica y la medicina, que correspondían mejor a la representación cultural que se tenía de las mujeres y la función femenina en esa época (Haraway, 1989; Jordanova, 1989; Schiebinger, 1989).

En el siglo XX se produjo un acercamiento más profundo, aunque lento y gradual, entre las mujeres y la ciencia. Antes de que se legislara contra la discriminación, en los años setenta, la entrada de las mujeres en el mundo de la ciencia siguió en gran parte el modelo simbólico de unas cuantas pioneras heroicas, como Marie Sklodowska Curie (1867-1934), fisicoquímica galardonada en 1903 y 1911 con el Premio Nobel, que fue profesora en la Sorbona y Directora del Instituto de Investigación sobre el Radio de París, o la especialista en física teórica Lise Meitner (1878-1968) que en el periodo entre las dos guerras mundiales fue jefa de una división en el Instituto de Radioquímica Kaiser Guillermo de Berlín. Estas dos mujeres, que comenzaron sus carreras antes que se instituyera el sufragio femenino tras la Primera Guerra Mundial (durante la cual sirvieron respectivamente en sus propios países, Francia y Austria) rompieron el estereotipo social de la supuesta incapacidad de las mujeres para el trabajo científico, especialmente en una ciencia ardua como la física. Su ejemplo

abrió las puertas a un pequeño número de científicas e ilustraron además dos de los principales medios de acceso de las mujeres a la ciencia: casarse con un colega, como lo hiciera Marie Curie y muchas otras (muchos otros ejemplos de parejas de colaboradores figuran en Pycior, Slack y Abir-Am, 1995), o dedicar toda la vida a la ciencia bajo el patrocinio de científicos esclarecidos, como en el caso de Lise Meitner (para otros ejemplos, remitirse a Abir-Am y Outram, 1987; Ainley, 1990; Kass-Simon y Farnes, 1990, véase también la sección «Las situaciones familiares»).

Durante los dos primeros tercios del siglo xx, la ciencia siguió en su mayor parte vedada a las mujeres. Aunque los institutos de investigación acogían un pequeño número, las universidades prestigiosas y las academias nacionales siguieron siendo largo tiempo los baluartes de la discriminación de la mujer (Rossiter, 1982, 1995). La primera mujer que llegó a Presidente de la Academia Francesa de Ciencias, la bioquímica Marianne Grunberg-Manago (1921-), fue elegida en octubre de 1994. La Royal Society británica comenzó a admitir mujeres entre sus miembros después de la Segunda Guerra Mundial pero todavía, como la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos, sigue teniendo un número singularmente bajo de mujeres.

Entre las pioneras de la ciencia en el siglo xx figuran Dorothy Wrinch (1894-1976), primera mujer que recibió un doctorado en ciencias de la Universidad de Oxford (1929), y primera candidata, desde la Segunda Guerra Mundial, a miembro de la Royal Society, y candidata al Premio Nobel; Dame Mary Cartwright (1900-), primera profesora de matemáticas de la Universidad de Cambridge, en 1935; la cristalógrafa Kathleen Lonsdale (1903-1973) y la microbióloga Marjorie Stephenson (1880-1950) fueron las primeras mujeres elegidas miembros de la Royal Society (en 1945); Cecilia Payne Gaposkin (1900-1979), primera profesora de astronomía en Harvard (en 1955), y los Premios Nobel Marie Curie (1903 y 1911), Irène Joliot-Curie (1935), Gerty Radnitz Cori (1947), Maria Goeppert-Mayer (1963), Dorothy Hodgkin (1964), Rosalyn Yalow (1977), Barbara McClintock (1983), Rita Levi-Montalcini (1986) y Gertrude Elion (1988).



Foto : Lotte Meitner - Graf, London.

Dorothy Hodgkin, en la época en que recibió el Premio Nobel de Química, en 1964.

A la larga, muchas mujeres lograron incorporarse a la enseñanza y las carreras científicas, pero sólo después del surgimiento del movimiento de liberación femenina que se impuso en los años setenta como fuerza política e ideológica importante en todo el mundo y especialmente en los Estados Unidos de América; recién a finales de los años ochenta se llegó a considerar abiertamente que la escasa representación de las mujeres en la ciencia era un problema de interés nacional del que debían ocuparse tanto las políticas científicas como sociales. Esta evolución se explica en parte por la consolidación de una generación de lucha por la igualdad entre mujeres y hombres, por la urgente necesidad de contratar y retener científicos en una sociedad cuya estructura demográfica cambia rápidamente, y por consideraciones de competitividad en el nuevo orden económico mundial basado en la ciencia y la tecnología que sustituyó la anterior confrontación de las superpotencias de la era de la guerra fría (Cozzens, Healey, Rip, Ziman, 1990; Abir-Am, 1990, 1992). Sin embargo, pese a que las mujeres han desempeñado una función

secundaria en la ciencia en los diversos periodos históricos, la importancia de su contribución ha variado, hasta cierto punto, en función de subculturas de las distintas disciplinas científicas de modo que las mujeres han hallado más oportunidades de destacarse en algunas disciplinas que en otras.

LAS DISCIPLINAS CIENTÍFICAS

Entre las ciencias de la observación, las experimentales y las teóricas, hay importantes diferencias a menudo sorprendentes. Tradicionalmente se aceptaba la colaboración de numerosas mujeres en las ciencias de la observación, especialmente en astronomía, botánica, ornitología y antropología. Estas disciplinas exigían siempre la recolección de muchos especímenes y se toleraba la presencia de «aficionados» de uno u otro sexo. También facilitaban a que parejas de colaboradores compartieran el tiempo y el espacio de observación, en una institución social que permitía a un gran número de mujeres y hombres combinar el trabajo y la vida personal en circunstancias socialmente aceptables (Abir-Am y Outram, 1987, Caps. 4-6; Pycior, Slack, y Abir-Am, 1995). Sin embargo, el predominio relativo de las mujeres en las ciencias de la observación no parece haber dado lugar a realizaciones notables, como se deduce de *Little science, big science* (Price, 1963); obviamente, la cuestión del género no se presta a modelos simplistas del cambio científico.

En cambio, las científicas más destacadas, al menos según criterios como la importancia de sus descubrimientos, pertenecían a las ciencias experimentales, frecuentemente las ciencias llamadas «difíciles», o a campos en que había muy pocas mujeres. Entre los ejemplos figuran el descubrimiento de la radiactividad natural, por Marie y Pierre Curie, y de la artificial, por Irène y Frederic Joliot-Curie, en fisicoquímica; la interpretación de la fisión del átomo de Lise Meitner, en física atómica; la solución de compuestos dotados de propiedades biológicas y medicinales activas tales como las moléculas orgánicas complejas de la penicilina, la vitamina B12 y la insulina, por Dorothy Hodgkin y sus equipos de radiocristalografía; el

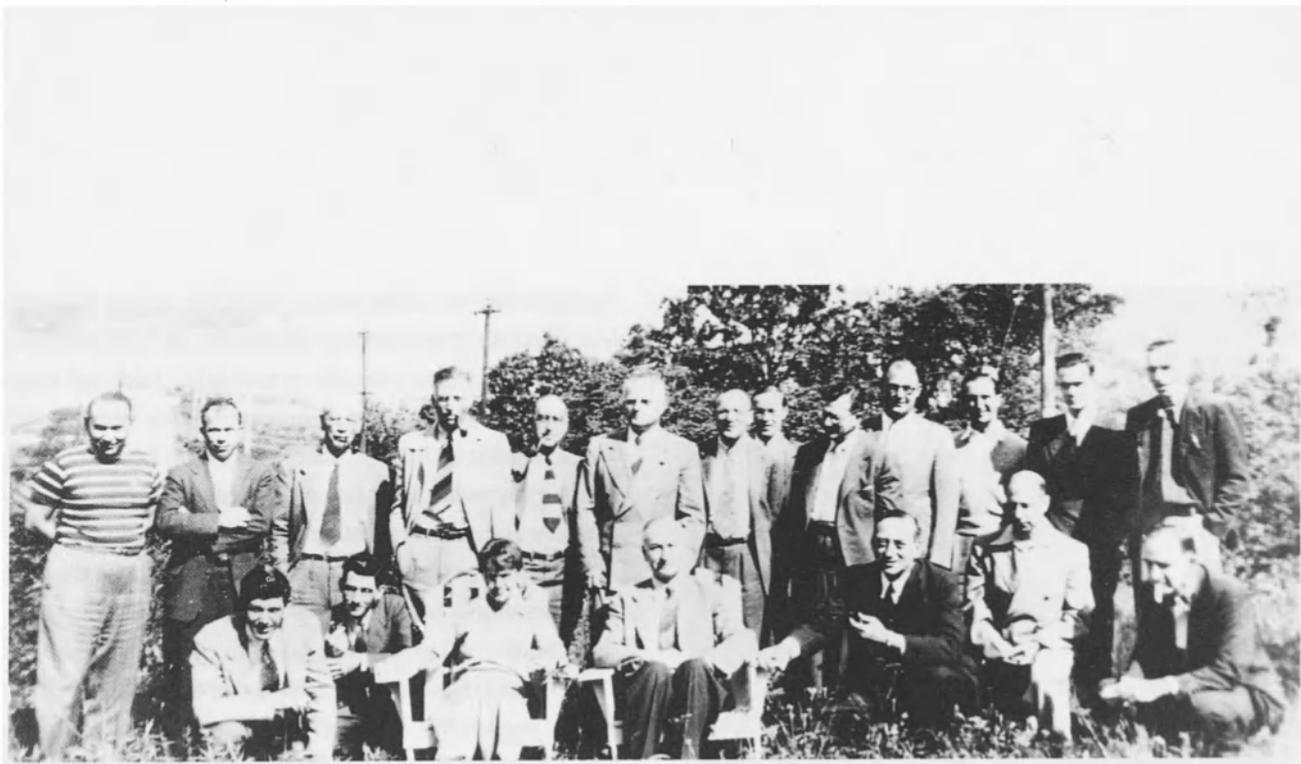
descubrimiento de los «genes saltadores» por Barbara McClintock, en genética; el desarrollo de la técnica de pruebas radioinmunológicas, por Rosalyn Yalow; el descubrimiento del factor de crecimiento de los nervios por Rita Levi-Montalcini, en neuroembriología experimental. Todos estos importantes descubrimientos, que han ganado premios Nobel (exceptuando la omisión de Lise Meitner, una teórica), son obra de mujeres en disciplinas experimentales donde había relativamente pocas representantes de su sexo.

El trabajo innovador de Sofía Kovalevskaja (1850-1891), Lise Meitner (1878-1968), Dorothy Wrinch (1894-1976) o Maria Goeppert-Mayer (1906-1972) demuestra que las mujeres, pese a su escaso número, se destacan mucho en las disciplinas teóricas. Cabe preguntarse entonces por qué han tendido siempre a concentrarse en las disciplinas menos gloriosas, pero de acceso más fácil, a pesar de las recompensas potencialmente mayores que ofrecían los ámbitos de más prestigio.

Una de las respuestas posibles es que las ciencias teóricas y las basadas en la observación tienen horarios menos rígidos, no exigen una formación intensa con «obstáculos técnicos», como el uso de los instrumentos científicos (que era tradicionalmente una «especialidad» masculina) y también son más compatibles con las responsabilidades familiares de la mujer que suelen dejarle menos tiempo para el trabajo en laboratorio (véase a continuación).

Aún actualmente la representación femenina en las distintas disciplinas científicas pone de manifiesto una distorsión que corresponde a la acumulación de estereotipos culturales a lo largo del tiempo. Estos estereotipos improcedentes sin fundamento objetivo, producto de un condicionamiento histórico, son reforzados por la actual distribución del poder profesional dentro de cada disciplina. Paradójicamente son todavía más obvios en la medicina, un campo compatible con la imagen de la mujer, difundida por nuestra cultura, que prodiga atención y cuidados, pero donde la proporción de mujeres varía mucho según las especialidades, con una mayor representación femenina en pediatría, obstetricia y psiquiatría.

Photo : American Philosophical Society.



La joven Barbara McClintock con sus pares: esta fotografía demuestra el lugar preponderante mantenido por los hombres.

EL LUGAR DE LAS MUJERES EN LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

LA NACIONALIDAD

Los principales estudios históricos sobre las actividades de la mujer en el ámbito de las ciencias han sido realizados en los Estados Unidos de América, el Reino Unido, Francia, Rusia y Canadá (por ejemplo, Rossiter, 1982, 1995; Koblitz, 1983-1993; Ogilvie, 1986-1991; Abir-Am y Outram, 1987; Haraway, 1989; Schiebinger, 1989; Ainley, 1990; Kass-Simon & Farnes, 1990; Pycior, Slack y Abir-Am, 1995). Se necesitan más estudios históricos sistemáticos sobre las científicas en Europa Central y Oriental, América Central y del Sur, Asia y también en otras regiones, para evaluar mejor la función del contexto nacional y del nacionalismo como ideología (Greenfeld, 1992) en la determinación de las carreras y las oportunidades ofrecidas a las mujeres en las ciencias. Un ejemplo inusual es el Kovalevskaia Fund, dirigido por Ann Hibnet Koblitz en el Hartwick College, Estado de Nueva York, que promueve el estudio histórico de la actividad científica femenina en los países del Tercer Mundo, entre otros Cuba, Viet Nam y México.

Uno de los resultados más sorprendentes de esos estudios es la elevada proporción de mujeres que emigran. Muchas de las científicas más destacadas, con frecuencia ganadoras del Premio Nobel, se trasladaron a otros paí-

ses. Entre ellas la matemática Sofía Kovalevskaia, que emigró de Rusia a Alemania y luego a Suecia; la fisicoquímica Marie Curie, que pasó de Polonia a Francia; la física nuclear Lise Meitner vivió sucesivamente en Austria, Alemania, Suecia y Gran Bretaña; la bioquímica Gerty Radnitz Cori, que se trasladó de Checoslovaquia a Austria y a los Estados Unidos; la especialista en química teórica Marie Goeppert-Mayer, que de Alemania fue a vivir a los Estados Unidos; la especialista en biología celular Rita Levi-Montalcini, que emigró de Italia a los Estados Unidos y regresó nuevamente a su país; la inmunóloga Maria de Souza, que de Portugal fue a trabajar al Reino Unido y los Estados Unidos y más tarde regresó a Portugal. Desde luego, la migración intelectual en gran escala provocada por el ascenso de los regímenes fascistas en Europa Central en el decenio de 1930 incluyó a muchas científicas, por ejemplo, Salomee Waeltch (1907-), una especialista en genética del desarrollo que en 1994 recibió la Medalla Nacional de las Ciencias de manos del Presidente Clinton.

Estos y otros ejemplos, como el gran número de estudiantes de medicina de origen ruso y de biólogas estadounidenses que estudiaban respectivamente en Suiza o en Europa Central a finales del siglo pasado y comienzos del actual, permiten suponer que la migración transna-

cional reduce la influencia de los códigos sociales nacionales y culturales mediante los cuales se ejerce el control sobre la mujer y la dominación masculina, formas de poder que desde siempre han restringido el acceso de las mujeres a las ciencias mediante la discriminación en los sistemas nacionales de educación. Sin embargo, en todas las monografías analizadas puede observarse que, para afianzar su posición en el nuevo país, la científica extranjera necesitó un importante apoyo, generalmente de uno o más de sus colegas masculinos de renombre. Habría que investigar más a fondo el tipo de creatividad científica que esta colaboración entre científicos de culturas y sexos diferentes aportó a las mujeres y los hombres involucrados en estas circunstancias.

LAS SITUACIONES FAMILIARES

El principio de la separación de las esferas de actividad, pilar del control social y de la jerarquía entre los sexos desde mediados del siglo XIX, influyó considerablemente en la participación de la mujer en las ciencias al predicar una supuesta contradicción entre las responsabilidades familiares y profesionales. Hasta el decenio de 1970 muchas científicas se sintieron obligadas a escoger entre su carrera y el matrimonio. Por ejemplo, dos ganadoras del Premio Nobel, Barbara McClintock (1900-1992, especialista en genética, laureada en 1983) y Rita Levi-Montalcini (nacida en 1909, especialista en biología celular, premiada en 1986) optaron por no casarse para poder dedicar toda su vida a la ciencia. De hecho, las solteras parecen haber predominado en disciplinas como la medicina, la botánica, la ornitología y la astronomía; con frecuencia fundaban «familias ficticias» compartiendo sus vidas con otras mujeres e incluso adoptando niños (véase Abir-Am y Outram, 1987, Caps. 3-6). El hecho de que la viudez aparentemente facilitara la carrera de una mujer (*ibid*, Caps. 5, 8, 9) sugiere que la función social de esposa y madre impuesto a la mujer ha constituido tradicionalmente un impedimento para la realización de su vocación científica.



Rita Levi-Montalcini, colaureada con el Premio Nobel de Fisiología y Medicina por sus trabajos sobre los factores de crecimiento.

Las científicas que se casaban introducían diversas modificaciones en la vida marital tradicional. Una de las opciones más frecuentes era el matrimonio-colaboración con un colega de la misma disciplina. Casi siempre se concedía prioridad a la carrera del marido, pero al menos la esposa tenía la posibilidad de realizar una actividad científica. Aunque la colaboración con el propio esposo parece haber rescatado a algunas científicas del anonimato total, invariablemente hizo que se tendiera a considerar su trabajo como un derivado del de su cónyuge, consecuencia sin duda inevitable de su situación de dependencia jurídica, económica y social de mujer casada (véanse las 24 monografías de los matrimonios de colaboradores en Pycior, Slack y Abir-Am, 1995).

Las formas de educar y cuidar a los hijos variaban considerablemente entre las científicas más destacadas. Mientras que algunas científicas casadas con colegas no tuvieron descendencia (mantener una relación de pareja casi igualitaria exigía tal vez tantos esfuerzos como la maternidad; *ibid*, Caps. 5, 6, 15), otras se hacían cargo del cuidado de sus hijos y, haciendo gala de ingenio, muchas veces recurrían a la ayuda de familiares, amigos e incluso colegas (*ibid*, especialmente el Capítulo 17 sobre Margaret Mead y los Myrdal). Algunas podían pagar los servicios de una persona que cuidara a sus hijos y, en casos excepcionales, recibían subsidios con este fin.

Como lo muestran estos ejemplos históricos, el problema del cuidado de los hijos o, más bien, la falta de medios para cubrir los gastos de una buena atención infantil, ha afectado constantemente la capacidad de las mujeres de llevar adelante con éxito su carrera científica, ya sea a finales del siglo pasado o en la actualidad, cien años más tarde.

LA CONCIENCIA DE LAS DIFERENCIAS ENTRE HOMBRES Y MUJERES

Cabe seguir preguntándose si estas pioneras en las carreras científicas contribuyeron a promover oportunidades similares para otras mujeres y a crear una mayor conciencia entre los científicos de ambos sexos acerca de los obstáculos que se plantean a la mujer, por el simple hecho de serlo, en un ámbito donde en principio prevalece el mérito. Otra pregunta relacionada con la anterior consiste en saber si la reflexión de las científicas sobre la relación entre el sexo y las ciencias les ha inducido a tratar de corregir los prejuicios antifemeninos existentes en el conocimiento científico, en particular en las disciplinas «antropomórficas» como la primatología, la biología reproductiva y la neurobiología, o a embarcarse en la lucha política, por ejemplo para aumentar la formación científica de las mujeres o el número de miembros de las academias de ciencias (Haraway, 1989; Hubbard, 1990).



Busto de Sofia Kovalevskaja, la primera mujer de los tiempos modernos que consiguió una cátedra de matemáticas.

Photo : Angela Wanglert, Stockholm.

Entre las científicas más destacadas del siglo XIX, precursoras de la lucha por el ingreso de las mujeres en las organizaciones y colegios científicos y al mismo tiempo activas defensoras de la liberación femenina, tanto a través de la política como de la literatura, figuran Maria Mitchell, que educó a toda una generación de astrónomas estadounidenses y defendió los derechos políticos de la mujer; Sofia Kovalevskaja, que en sus novelas exhortó tanto a hombres como a mujeres a la lucha revolucionaria; Clémence Royer, que escribió tratados científicos y obras de divulgación sobre la evolución de las especies, destinados a combatir la imagen, tan difundida como socialmente devastadora, de la mujer como miembro «no evolutivo» de la raza humana. En comparación, en el siglo XX, la participación política de las científicas fue relativamente modesta, como consecuencia de su escaso número, insuficiente para alcanzar la «masa crítica». Incluso Dame Kathleen Lonsdale, una militante reformista, abrazó la causa de la mujer en las ciencias recién en los años 1970, cuando ya estaba bien arraigado el movimiento de liberación femenina.

CONCLUSIONES

Pese a los numerosos progresos registrados, la situación de las mujeres en el mundo científico sigue siendo ambigua. Todavía representan una minoría numérica aunque ya no son marginales y han ganado un creciente reconocimiento; sin embargo, siguen desgarrándose entre las prerrogativas (basadas en principio en el carácter universal de la ciencia) que les otorga su carrera científica, y las preocupaciones (supuestamente de carácter partidista) por la defensa de la igualdad entre hombres y mujeres, tanto en las ciencias como en la sociedad. Como ocurre con otros problemas relativos a la desigualdad social y política, la causa de la mujer en las ciencias recibió mucho ímpetu a finales de los años 80, cuando se incorporó a los problemas «fundamentales» de la política científica estadounidense. La movilización de la mujer se convirtió súbitamente en una solución potencial al problema de la escasez de mano de obra científica y, por ende, en una contribución a la competitividad de los Estados Unidos en el plano internacional.

No obstante los esfuerzos individuales de diversos científicos destacados, y de una mayor adaptación de sus instituciones a las demandas políticas en favor de la igualdad entre mujeres y hombres, la ciencia —que pretendía defender la objetividad y estar regida por la meritocracia— demostró que no era diferente de otras instituciones sociales destinadas más explícitamente a mantener la sociedad bajo control mediante la jerarquía establecida entre los sexos. En su mayor parte, los científicos siguen oponiéndose a la idea de compartir el poder con sus colegas de sexo femenino.

A pesar de las diversas medidas adoptadas contra la discriminación, la ciencia no ha tratado de dismantelar, mediante políticas sistemáticas o explícitamente correctivas, las prácticas sociales y las consecuencias de la jerarquía de los sexos en la sociedad y la cultura, las que determinan su estructura laboral y modelan la visión del mundo que tienen los científicos. Confiamos en que con la llegada inminente del siglo XXI comience una nueva era de igualdad entre hombres y mujeres, tanto en la ciencia como en la sociedad.

Pnina Geraldine Abir-Am obtuvo su doctorado en Historia de la Ciencia en la Universidad de Montreal y su licenciatura en Química en la Universidad Hebrea de Jerusalén. Es autora de *Research Schools of Molecular Biology in US, UK, and France: A History of Collective Creativity in 20th Century Science* (University of California Press, 1996) y codirectora de la publicación *Uneasy Careers and Intimate Lives; Women in Science, 1789-1979* (Rutgers University Press, 1987). Recibió un premio de la Society for History of Science por su destacada actividad de investigación. Durante el año universitario 1995-1996 será becaria residente del Dibner Institute for History of Science and Technology, un centro internacional de investigación avanzada que se encuentra en Cambridge, Massachusetts, Estados Unidos de América.

BIBLIOGRAFÍA

- Abir-Am, P. G., 1992, Science policy or social policy for women in science: from historical case-studies to an agenda for the 1990s', *Science and Technology Policy* (Londres), abril de 1992, 11-12 [Informe sobre un seminario internacional auspiciado por la US National Science Foundation a través del Visiting Professorships for Women Program]; una primera versión con bibliografía suscitada por los debates celebrados en el Advanced Study Institute de la OTAN, Il Ciocco, Italia, octubre de 1989, apareció en el boletín de la European Association for the Study of Science and Technology, *EASST Newsletter*, 9 de febrero de 1990, págs. 14-17.
- «Collaborative couples who wanted to change the world: The personal tensions and social policies of the Russells, the Myrdals, and the Mead-Batesons», en: Pycior, Slack y Abir-Am (dirs. de la publ.), 1995, págs. 378-399; págs. 533-538; *idem*, «Series Editor's Foreword», *ibid.* iv-vi.
- Abir-Am, P. G. y Outram, D. (dirs. de la publ.), *Uneasy Careers and Intimate Lives, Women in Science, 1789-1979* (New Brunswick/NJ y Londres, Rutgers University Press, 1987, 1989).
- Ainley, M. G. (dir. de la publ.), *Despite the Odds: Essays on Canadian Women and Science* (Montreal, Vehicule, 1990).
- Ben-David, J., *The Scientist's Role in Society: A Comparative Study* (Chicago, University of Chicago Press, 1984; primera edición en 1971).
- Bonner, T. N., *To the Ends of the Earth, Women's Search for an Education in Medicine* (Cambridge, MA., Harvard University Press, 1992).
- Cozzens, F., Healey, B., Rip, A. y Ziman, J. (1990), *The Research System in Transition*, Dordrecht, Kluwer.
- Greenfeld, L., *Nationalism, Five Roads to Modernity* (Cambridge/MA., Harvard University Press, 1992).
- Haraway, D. J., *Primate Visions, Gender, Race and Nature in the World of Modern Science* (Nueva York, Routledge, Chapman and Hall, Inc., 1989).
- Hodgkin, D., «A life in Science», en Faruqi A.M., Hassan M.H.A. y Sandri G. (dirs. de la publ.), *The Role of Women in the Development of Science and Technology in the Third World* (Singapur/NJ/Londres/Hong Kong, World Scientific, 1991), págs. 14-28.
- Hollinger, «How wide is the circle of the «way»? American intellectuals and the problem of ethos since WWII», *American Historical Review*, abril de 1993: págs. 317-337.
- Holman, P. y Apple, R. D., *The History of Women and Science, Health, and Technology: A Bibliographic Guide to the Professions and Disciplines* (Madison, University of Wisconsin Press, 1993).
- Hubbard, R., *The Politics of Women's Biology* (New Brunswick y Londres, Rutgers University Press, 1990).
- Jordanova, L., *Sexual Visions: Images of Gender in Science and Medicine from the Eighteenth to Twentieth Centuries* (Madison, University of Wisconsin Press, 1989).
- Kass-Simon, G. y Farnes, P., (dirs. de la publ.), *Women of Science, Righting the Record* (Bloomington, IN, Indiana University Press, 1990).
- Keller, E. F., *A feeling for the Organism, the Life and Work of Barbara McClintock* (San Francisco, Freeman, 1983).
- (1985) *Reflections on Gender and Science*, New Haven: Yale University Press.
- Koblitz, A. H., *Sofia Kovalevskaia, Scientist, Writer, Revolutionary* (New Brunswick, NJ, Rutgers University Press, 1993; primera edición en 1983).
- Les Cahiers de Sciences et Vie*, número especial, «Fondateurs de la science: Marie Curie», París, diciembre de 1994.
- Levi-Montalcini, R., *In praise of imperfection: My life and work* (Nueva York, Basic Books, 1988).
- Merchant, C., *The Death of Nature. Women, Ecology and the Scientific Revolution* (San Francisco, Harper & Row, 1980).
- National Research Council [US], Office of scientific and engineering personnel, «Responding to the changing demography: Women in science and engineering», (Washington D.C., NRC Press, 1989).
- Ogilvie, M. B., *Women in science, Antiquity to the 19th Century, A Biographical Dictionary with Annotated Biography* (Cambridge, MA., The MIT Press, 1986, 1991).
- Okeke, E., «Encouraging African Girls to Choose Science», *The Radcliffe Quarterly*, septiembre de 1990, págs. 10-11.
- Price, Derek de Solla, *Little Science, Big Science* (New Haven, CT., Yale University Press, 1963).
- Pycior, H. M., Slack, N.G. y Abir-Am P.G. (dirs. de la publ.), *Creative Couples in Science* (New Brunswick, Rutgers University Press, 1995).
- Rossiter, M. W., *Women Scientists in America, Struggles and Strategies to 1940* (Baltimore, The Johns Hopkins University Press, 1982).
- *Women Scientists in America, Before Affirmative Actions, 1940-1972* (Baltimore, The Johns Hopkins University Press, 1995).
- Sayre, A., *Rosalind Franklin and DNA* (Nueva York, Norton, 1975).
- Schiebinger, L., *The Mind Has no Sex? Women in the Origins of Modern Science* (Cambridge, MA., Harvard University Press, 1989).

La nueva edición de esta importante publicación bianual de la UNESCO examina el estado de la ciencia y de la tecnología en varias regiones del mundo, y describe especialmente las tendencias recientes de la enseñanza y de la investigación-desarrollo, así como los problemas específicos a los que debe enfrentarse cada región o cada grupo de países.

Algunos de los temas más actuales, que interesan tanto a la comunidad científica como a la sociedad en general, se presentan en la segunda parte; entre ellos la biodiversidad, la degradación del medio ambiente, la ética de la ciencia, la cooperación internacional y la megaciencia. Se concede especial atención a la evolución reciente de las nuevas tecnologías-las tecnologías de la información, la biotecnología, los nuevos materiales y la ingeniería-y a su impacto en la sociedad.

La última parte se dedica al lugar de las mujeres en el campo de la tecnología y de la ciencia. Los autores, apoyándose en un amplio abanico de publicaciones, estudian las disparidades que existen en este campo, y analizan los principales obstáculos educativos y sociales que encuentran las mujeres para acceder a las formaciones y las carreras científicas.

El Informe mundial sobre la ciencia, elaborado por autores de renombre internacional en sus respectivas especialidades, constituirá una obra de referencia y una valiosa fuente de información para todos aquellos que quieran comprender la organización, el funcionamiento y la evolución de la ciencia y de la tecnología en el mundo.



UNESCO. ISBN 92-3-303220-5
Santillana. ISBN 84-294-5128-5



9 789233 032200

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA