

# El medio ambiente y la enseñanza de la ingeniería

Publicado bajo la dirección  
de David Brancher

unesco



Publicado en 1983  
por la Organización de las Naciones Unidas  
para la Educación, la Ciencia y la Cultura  
7, place de Fontenoy, 75700 Paris  
Imprimeries Populaires de Genève

ISBN 92-3-301793-1

Edición francesa: 92-3-201793-8  
Edición inglesa: 92-3-101793-4

© Unesco 1983



Títulos de esta colección

1. *Standards for engineering qualifications/Normes de qualifications des ingénieurs*
2. *Las ciencias sociales y las humanidades en la formación de ingenieros*
3. *The continuing education of engineers/La formation continue des ingénieurs*
4. *Staff development for institutions educating and training engineers and technicians*
5. *La elaboración de los planes de estudio de ingeniería*
6. *Advances in the continuing education of engineers*
7. *Engineering technicians: Some problems of nomenclature and classification/Les techniciens: quelques problèmes d'appellation et de classification*
8. *Strengthening co-operation between engineering schools and industry (en preparación)*
9. *El medio ambiente y la enseñanza de la ingeniería*

# Prefacio

*El medio ambiente y la enseñanza de la ingeniería* responde a la necesidad, sentida por igual en el mundo industrializado y en el mundo en desarrollo, de ampliar y renovar las experiencias educativas ofrecidas a los hombres y mujeres que se preparan para las profesiones de la ingeniería. La obra trata de lo que tal vez sea el principal aspecto de la responsabilidad de esas profesiones hacia la sociedad. Como título n.º 9 de la colección “Estudios sobre enseñanza de la ingeniería” refuerza e ilustra el enfoque presentado en el n.º 2, *Las ciencias sociales y las humanidades en la formación de ingenieros*. En ella se demuestra que la capacidad para responder al desafío del medio ambiente depende de un firme fundamento en los aspectos pertinentes de las disciplinas socio-humanistas. Se subraya además que esos conceptos deben incorporarse a la técnica y al mundo concreto de la ingeniería como parte del proceso educativo, si se quiere que tengan utilidad profesional.

En este volumen, los autores examinan cuatro aspectos fundamentales: la ingeniería y el ambiente de trabajo; la elección y aplicación de una tecnología apropiada; la formación de especialistas en ingeniería ambiental; los objetivos de la organización de los estudios académicos y las estrategias que pueden emplear los encargados de tomar decisiones en la esfera de la enseñanza superior. Los problemas examinados por los autores han sido definidos como asuntos de alta prioridad por el Grupo Internacional de Trabajo sobre la Formación Ambiental de los Ingenieros. Este grupo, creado para asesorar al Director General de la Unesco, celebró su primera reunión en París, en 1975, la segunda en Caracas (Venezuela), en 1977, y la tercera en París, en 1979.

La Unesco expresa su agradecimiento al Dr. David Brancher, que ha dirigido la publicación de este volumen y redactado las secciones relativas a organización de los estudios y tecnología apropiada, y a los otros autores: Prof. Gideon Gerhardsson, Dr. Hassan El-Baroudi, Dr. Dev R. Sachdev y Prof. Adel Hamouda. También da las gracias al Sr. George McRobie, que convocó la reunión de asesores sobre tecnología apro-

piada, y al Prof. Richard Booth y al Dr. Dennis Else, que facilitaron el material para el estudio de caso sobre el ambiente de trabajo.

Todos los autores han expresado hechos e ideas con completa independencia de la Organización, y sus opiniones no son necesariamente las de la Unesco.

#### LOS AUTORES

*Gideon Gerhardsson* es asesor principal de la Federación de Empresarios Suecos y profesor de la Facultad de Medicina de la Universidad de Umeå (Suecia).

*Hassan M. El-Baroudi* es director de proyectos ambientales. *Dev R. Sachdev* es ingeniero supervisor (Sección de Tratamiento del Agua y de los Desechos) de la Envirosphere Company, división de Ebasco Services Inc., Nueva York (Estados Unidos de América). *A. Adel Hamouda* es profesor del Departamento de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Alejandría (República Árabe de Egipto).

*David Brancher* es director adjunto de estudios complementarios de la Universidad de Aston, Birmingham (Reino Unido).

# Índice

Introducción	<i>David Brancher</i>	9
Las ciencias del trabajo y el ingeniero	<i>Gideon Gerhardsson</i>	19
La tecnología apropiada en la enseñanza de la ingeniería	<i>David Brancher</i>	53
La ingeniería ambiental en la enseñanza y en la práctica	<i>Hassan M. El-Baroudi, Dev R. Sachdev y Adel Hamouda</i>	88
La organización del proceso	<i>David Brancher</i>	109

# Introducción

David Brancher

Todo examen de la formación sobre medio ambiente de los ingenieros está expuesto a ser perturbado por una pregunta enojosa: ¿Qué significa medio ambiente? Si se admite que hay que impartir a los ingenieros enseñanzas sobre el medio ambiente, lo que tienen que hacer con él y contra qué tienen que protegerlo, necesitamos saber lo que es realmente el medio ambiente.

Esta pregunta es razonable y reveladora. El intento de contestarla muestra que los elementos y los procesos que significan el medio ambiente para un ingeniero forman parte del trabajo mismo para un ingeniero de otra especialidad. Por ejemplo, un ingeniero químico que evacua material de desecho en un río (causando o no daños, para el caso es lo mismo) produce un efecto sobre el medio ambiente. La educación relativa al medio ambiente significa para él aprender algo sobre la ecología de los ríos.

Para el ingeniero de recursos hidráulicos que se ocupa del río, la misma evacuación lleva consigo la promulgación y aplicación de normas para los efluentes, la vigilancia de los resultados, el mantenimiento de los caudales de estiaje y así sucesivamente. Esto constituye la esencia misma de su trabajo. Sin embargo, si llevamos al mismo ingeniero hidráulico al parque nacional en el que empieza el río encontraremos que también necesita una formación sobre el medio ambiente. El represamiento de los ríos, la elevación de los niveles lacustres y la construcción de carreteras y edificios pueden tener un profundo efecto sobre la calidad del paisaje y su potencial recreativo. Esta vez encontramos que este campo de la formación sobre el medio ambiente constituye la función central de un nuevo tipo de ingeniero: el arquitecto paisajista. El límite entre la función profesional y el "medio ambiente" es claramente relativo. Su posición aparente depende del tipo de ingeniero de que se trate.

Podemos observar una relatividad similar a lo largo del tiempo. Hace veinte o treinta años, en la mayor parte de los países desarrollados, "el ambiente de trabajo" era un concepto de escasa significación para la

mayoría de los ingenieros mecánicos e industriales. En la medida en que se reconocían los problemas, se consideraba que éstos incumbían a los especialistas en medicina industrial y unas pocas disciplinas más. Hoy día se reconoce de un modo general que el ambiente del trabajo industrial, al menos en muchos aspectos, es algo que puede ser construido, es decir, estudiado, creado o mejorado y vigilado, en gran medida por ingenieros. El límite entre la función del ingeniero y el ambiente en que se desarrolla esa función se ha desplazado bajo la presión de la preocupación pública y de una mayor conciencia en la industria de lo que constituye un proceso de trabajo bien diseñado.

Vemos así que la definición de medio ambiente y de la formación en este dominio adolece de cierta relatividad. El punto donde comienza el medio ambiente depende de la especialización del ingeniero y varía a lo largo del tiempo. Tal vez podría conseguirse más precisión examinando la contaminación, pues indudablemente el control y la eliminación de la contaminación son objetivos primordiales de la protección del medio ambiente.

La contaminación puede ser objetiva como en el caso de las sustancias químicas tóxicas, pero también puede ser subjetiva, como en el caso de la degradación del paisaje. Por último, puede ser al mismo tiempo objetiva y subjetiva, como en el caso del ruido. La contaminación puede tener efectos directos sobre los seres humanos, como sucede con el abastecimiento de agua potable. Sus efectos pueden ser indirectos, como cuando afectan las poblaciones de peces. Además puede depender más o menos de los ecosistemas y puede dejarse sentir mediante interacciones simbióticas o parasitarias que sólo puede comprender un experto.

La contaminación puede ser totalmente inaceptable y exigir su eliminación a cualquier precio, o puede requerir una evaluación económica en la que los costos de uno u otro tipo de tratamiento se comparan con los beneficios y las pérdidas que resultarían utilizando el dinero (es decir, los recursos) de otra manera. El concepto de contaminación como presencia de materia o energía donde es indeseable, a primera vista tan simple, resulta poco útil como definición tanto en la educación relativa al medio ambiente como en la propia ingeniería.

Tampoco la idea del agotamiento de los recursos resulta más útil. Una razón de ello es que los recursos sólo existen en la medida en que son reconocidos. Un parque nacional está "agotado" si como consecuencia de una mala gestión proporciona menos conocimientos sobre la vida silvestre que los que inicialmente motivaron su creación. El centro de una ciudad histórica puede perder su interés como campo de experimentación arquitectónica por el cual habría podido conservarse. En ambos casos y, por supuesto en otros muchos, las pérdidas son subjetivas pero, sin embargo, reales e importantes.

Incluso los recursos físicos, incuestionablemente objetivos y tangibles,

dependen de la percepción. Su agostamiento es real en la medida en que sabemos que tenemos usos para ellos. Es menos real en la medida en que sabemos que la sustitución o la eliminación de la necesidad puede conseguirse a un costo razonable (y el “costo razonable” es a su vez una cuestión de percepción). En consecuencia, los recursos pueden ser tangibles, intangibles, estéticos y “económicos”. Aparecen y desaparecen según lo que sepamos de ellos y lo que nos importen. Son construcciones culturales.

Si encontramos tanta dificultad para definir el medio ambiente ¿cómo podemos abordar la educación relativa al medio ambiente? Al perseguir este esquivo y amorfo espíritu por la selva podemos tal vez preguntarnos si merece la pena buscar una definición. Indudablemente no vale la pena, en el sentido de que nunca podremos decir que la educación ambiental se ocupa de esto y no de aquello. Siempre se nos escapará una definición absoluta y esto por una razón muy importante.

La ingeniería se ocupa de crear riqueza, es decir, bienestar material, social y mental en el mundo real. Toma cosas de este mundo real, que constituye el medio ambiente de la ingeniería, y las devuelve con un valor añadido. Sin esta adición de valor, la ingeniería carece de sentido. La ingeniería por amor a la ingeniería no es ingeniería en absoluto ni lo ha sido nunca. En este sentido, toda la ingeniería se ocupa del medio ambiente.

### **Una concepción sistémica**

¿Tiene, entonces, la expresión “medio ambiente” alguna utilidad para nosotros en esta época de debate y crítica? Sólo la tiene en un aspecto, que tomamos del dominio de la teoría de sistemas. En efecto, la ingeniería, considerada tanto como un grupo de personas, un conjunto de instituciones o un cuerpo de conocimientos y de técnicas, es ella misma un sistema y, como todos los sistemas, tiene un medio ambiente: otras personas con sus valores y objetivos, otras instituciones, otros conocimientos y otras actividades. La ingeniería trata de ser abierta, de tomar información de un medio cambiante; trata de redefinir su medio ambiente extendiendo su esfera de información y de control, y cuando no puede mantener sus objetivos tradicionales la ingeniería debe adaptarse encontrando nuevos objetivos y reorganizando su estructura interna.

Estas tres características pueden observarse en la ingeniería y sólo adoptando un enfoque de sistemas podemos encontrar un concepto de medio ambiente y de la formación respecto a él que conserve su validez a lo largo del tiempo y a través de las numerosas especialidades y funciones de la profesión. La paradoja es que al definir así la educación de los

ingenieros respecto del medio ambiente estamos dejando de lado la definición permanente de la ingeniería en sí misma.

Las principales consecuencias son cuestiones de opinión. En el futuro, si los ingenieros quieren aceptar el desafío del medio ambiente, tendrán necesidad de mirar: *a)* tanto hacia fuera como hacia dentro; *b)* a las futuras generaciones como a la presente; *c)* a los efectos menos evidentes como a los evidentes; *d)* a lo intangible como a lo tangible; *e)* a lo inmensurable como a lo mensurable; *f)* a la verdadera riqueza como al estrecho beneficio comercial.

La lógica de esta "Introducción", tal como se ha expuesto hasta ahora, impone a estos breves trabajos una tarea imposible. Es tentador, como siempre, tratar de condensar y resumir todo lo que debería decirse, reducir el campo del conocimiento (en la medida en que los autores pueden abarcarlo) a una serie de listas y prescripciones. Esto sería un error, que entrañaría la certeza de la trivialización. Parece mejor ser selectivo y hacer un enfoque más preciso, aplicando dos criterios que parecen apropiados. En primer lugar, es importante que los temas tengan una significación internacional contemporánea, teniendo en cuenta la función de la Unesco de acercar a las naciones desarrolladas y las naciones en desarrollo. En segundo lugar, como muchos lectores pueden estar encargados de adoptar decisiones a alto nivel en la educación superior, parece conveniente que los trabajos subrayen los problemas estratégicos de importancia para el desarrollo de la formación relativa al medio ambiente y de las escuelas que la imparten.

Anteriormente, al intentar resolver el problema conceptual, hemos señalado algunas características sistémicas que pueden observarse en la profesión de la ingeniería conforme ésta se adapta a nuevas circunstancias. Podemos utilizar ahora esas características en la presentación de los cuatro trabajos.

### **Ensanchamiento de los límites**

Hace diez o quince años hubiera sido inconcebible incluir el concepto de ambiente de trabajo en una colección de artículos sobre la formación de los ingenieros en materia del medio ambiente. Sin embargo, más recientemente asistimos a una nueva toma de conciencia tanto de los poderes públicos como de los industriales, los dirigentes sindicales y la opinión pública. Esto se refleja en el reconocimiento de que el ambiente del trabajo industrial puede tener características químicas y físicas perjudiciales para la salud tanto a largo como a corto plazo.

Al mismo tiempo, y bajo la influencia de organismos tales como la Organización Mundial de la Salud y la Organización Internacional del Trabajo, la propia idea de salud ha adquirido un significado más amplio.

Este significado, que tal vez se expresaría mejor como “bienestar”, demuestra una preocupación por el trabajador como persona total. Considera a la persona que trabaja no sólo como un individuo que respira, oye, manipula y se mueve, sino como alguien que busca un propósito en el trabajo y una posibilidad de autorrealización.

En algunos aspectos, el ambiente del trabajo industrial ha mejorado en el siglo y medio transcurrido desde que las primeras naciones en desarrollo empezaron su industrialización en gran escala. Aunque todavía falta mucho por hacer, y los nuevos procesos plantean nuevos riesgos, una parte del trabajo industrial es hoy día más limpio, menos tóxico, más calmo y más seguro. Donde se ha producido esta mejora, la mayor parte del mérito corresponde a los ingenieros.

Sin embargo, las comparaciones no deben hacerse con las situaciones históricas sino con las expectativas actuales. El trabajador industrial de hace un siglo vivía en una comunidad estanca, encerrada en sí misma y autorreferente y no podía imaginar otra forma de empleo (que no fuera la vida todavía más dura del trabajador agrícola de aquellos tiempos). Sus horas de ocio eran pocas y de todos modos carecía de dinero para utilizarlas plenamente.

Hoy día, el cuadro es diferente. Incluso en los países donde el desarrollo es reciente la mayoría de los obreros industriales tienen radio y algunos televisión. Los jóvenes tienen oportunidades de viajar y el transistor los ha unido en una cultura juvenil internacional cuyos valores sólo comprende lentamente la generación anterior. A todas las edades, el trabajador industrial de nuestros días tiene expectativas y aspiraciones que estaban reservadas a unos pocos hace sólo diez o veinte años.

Cuando esas aspiraciones no se satisfacen, cuando la dirección ni siquiera se da cuenta de que existen, cuando se percibe el trabajo como crispador y monótono, cuando el entorno físico es insalubre y potencialmente peligroso, se producen las condiciones en las que los trabajadores pueden sentirse ajenos a su trabajo, a sus empleadores e incluso unos a otros. Evidentemente, corresponde a los directores y a los dirigentes sindicales evitar la aparición de esta situación y corregirla donde ya exista. Sin embargo, la función fundamental incumbe al especialista (ingeniero, médico laboral, ergonomista, etc.) que asesorará a ambas partes de manera que lleguen a un acuerdo. En su artículo, Gideon Gerhardsson examina los conocimientos necesarios para comprender y mejorar el ambiente de trabajo.

El cometido del ingeniero en esta importante y crítica actividad varía de una industria a otra y de un campo del conocimiento a otro. En algunas situaciones, el ingeniero necesita saber, e incluso debería efectivamente saber, tanto como el que más. En otras, el centro del conocimiento radica en otra profesión, pero el ingeniero deberá evaluar el problema y lo que pueda hacerse para resolverlo. Sería utópico pensar

que los estudiantes de ingeniería pueden y deben profundizar por igual en todos los aspectos del campo del ambiente de trabajo. Esto no sólo sería un despilfarro sino que conduciría inevitablemente a un aprendizaje superficial, cuando lo que se requiere es una gran competencia.

Con esta idea, el profesor Gerhardsson utiliza dos categorías o niveles para describir los sectores del conocimiento: nivel de evaluación, en el que basta con un conocimiento general, y nivel de ejecución, en el que el ingeniero tiene la responsabilidad de una acción efectiva. Más importante todavía es que el artículo reconoce que, debido al amplio intervalo que abarca el campo de estudios de la ingeniería, la definición de los dos niveles de conocimiento varía necesariamente de una rama de la ingeniería a otra.

Como en otras disciplinas, la formación de los ingenieros sobre el medio ambiente puede presentar problemas de motivación. No es que los estudiantes de ingeniería sean incapaces de interesarse por los problemas del medio ambiente, sino más bien que su percepción de la ingeniería y de la función del ingeniero tiende a limitarse a un estrecho estereotipo. El desafío para los profesores es que esa percepción tiene que extenderse de modo que los estudiantes reconozcan la amplitud de sus futuras obligaciones. El artículo propone algunos procedimientos para abordar el problema educativo y subraya, en particular, la especial contribución que pueden hacer los estudios de casos.

### **Nuevos objetivos**

Al principio de esta "Introducción" hemos señalado la dificultad de fijar los límites de la educación relativa al medio ambiente, particularmente en lo que interesa a los ingenieros. Si toda ingeniería se ocupa efectivamente del medio ambiente, se deduce que debe ser apropiada para el ambiente en el que se aplica. Por otra parte, para un estudiante o ingeniero formado en la concepción sistémica, el ambiente no significa sólo el contexto biológico sino la totalidad del entorno tangible e intangible con el que interactúa el sistema creado por el hombre.

Como muchas perogrulladas, esta afirmación es al mismo tiempo trivial y profunda. Su aspecto trivial es el que hace que algunos ingenieros desechen el concepto "de tecnología apropiada" como algo tan evidente que carece casi de significación. Esta reacción es tal vez comprensible entre los que no han estado nunca en una región donde la tecnología no ha conseguido salvar el abismo entre la nutrición y el hambre, entre la enfermedad generalizada y la salud, entre tener un techo y estar al descampado; entre los que no han visto los numerosos fracasos de la tecnología en el desarrollo económico y social.

En cambio, otros se sienten agraviados por la profunda significación

del concepto de tecnología apropiada. Preguntan entonces si alguien está sugiriendo que su competencia tecnológica es inapropiada. La mayor parte de los colegas son demasiado educados para responder a ese desafío, lo que hace que el tema no se ponga nunca sobre el tapete.

En la esfera de la educación, el concepto de tecnología apropiada puede parecer nebuloso. Consideremos el caso de una escuela ideal de ingeniería en la que los estudiantes se ejercitan en los problemas infraestructurales y políticos del desarrollo económico y social, en la que se les educa en las ciencias sociales pertinentes, en la que el personal está personalmente dedicado a la utilización humana de la tecnología, y así sucesivamente. Aun en tal escuela es difícil contestar a una pregunta aparentemente tan sencilla como ¿Trata Ud. de tecnología apropiada en su curso? Es igual que preguntar a una escuela de medicina si aborda el lado humano de la medicina.

Plantear el tema de la tecnología apropiada equivale a suscitar un gran número de preguntas, y es correcto hacerlo. Sería trágico, en el sentido estricto de la palabra, dejar que la enseñanza de la ingeniería termine esta década sin una reconsideración de los problemas y dilemas de un mundo en el que existen demasiada hambre, enfermedad, falta de vivienda y desempleo y en el que se han concebido y transferido tecnologías que con mucha frecuencia han resultado inapropiadas, a veces con un gran costo de recursos, tiempo, decepción e incluso sufrimiento.

La aplicación satisfactoria de la tecnología al desarrollo económico y social es un problema mucho más complejo de lo que da a entender la noción hoy día muy desacreditada de “transferencia de tecnología”. La percepción y aceptación de las posibilidades ofrecidas por la tecnología dependen de factores que pueden ser culturales, sociales, políticos e incluso religiosos. El aprovechamiento de esas posibilidades puede depender de consideraciones económicas tales como la disponibilidad de recursos materiales y capital financiero, y la cantidad, capacitación y motivación de la mano de obra prevista. La viabilidad de una nueva tecnología a largo plazo puede depender de la capacidad de la infraestructura económica y social (por ejemplo, en cuestiones de educación y capacitación) y de la elasticidad del medio biológico y de su ecología. La estabilidad a largo plazo del desarrollo reflejará ante todo la medida en que satisface las necesidades económicas y sociales fundamentales de la mayoría de la población, independientemente de las aspiraciones de un sector político o burocrático.

Sin embargo, constituye un profundo error suponer que la tecnología apropiada es un concepto o una serie de ideas que deben tomarse en cuenta únicamente en los países en desarrollo. No hay nada más lejos del pensamiento de los que han contribuido a preparar el segundo artículo de este volumen. Los países ricos del mundo no padecen generalmente el tipo de pobreza que aflige a los numerosos países que están

todavía en la etapa inicial del desarrollo, pero tienen problemas no resueltos, por ejemplo en sus ciudades, en su entorno natural y en el desempleo estructural. Muchos de esos problemas tienen su origen en la utilización irreflexiva y abusiva de la tecnología. Esta es la razón de que puedan encontrarse hoy día, probablemente en todos los países tecnológicamente adelantados, innovaciones en la enseñanza de la ingeniería que reflejan la preocupación de que tales errores se eviten en el futuro.

Es evidente que tales innovaciones no aparecen siempre bajo el título de tecnología apropiada, ni necesariamente en forma de programas de estudios completos ni siquiera como cursos independientes. Pueden aparecer, por ejemplo, como series de conferencias sobre tecnología y problemas urbanos, sobre creación de empleo o sobre nuevas fuentes de energía, o también como opciones que permiten responder a las preocupaciones de una minoría de los estudiantes sobre el porvenir de la tecnología de tipo occidental; muy a menudo, emergen en la selección de proyectos supervisados por profesores con visión de futuro y además tales proyectos suelen tener mayor alcance de lo que ha sido normal en el pasado. En muchas escuelas de ingeniería se utilizan cada vez más los proyectos “sociotécnicos” del tipo implementado en el Reino Unido mediante el General Education in Engineering Project y como los que se han introducido en varias escuelas de los Estados Unidos de América.

### **Reestructuración**

El adjetivo “civil” se utiliza en varios grupos de idiomas para designar al ingeniero que se ocupa de la construcción de las carreteras, diques, puentes, canales, oleoductos y estructuras de muchos tipos. Pocos profanos saben que ese término data de la época en que la ingeniería era esencialmente militar. Cuando se concedió un nivel comparable de prestigio a los propósitos no militares, los profesionales se llamaron “ingenieros civiles” para que esto quedara claro. Todavía en algunos países, la expresión abarca todo el dominio de la ingeniería no militar a nivel profesional. En otros países, las nuevas tecnologías de los siglos XIX y XX se reflejan en una profusión de títulos y órganos profesionales. En otras palabras, la estructura profesional ha sido determinada por circunstancias históricas.

Por muchas razones es más fácil fundar un nuevo cuerpo profesional que racionalizar la estructura ya existente. Puede ser incluso más fácil crear un nuevo programa de graduación o un nuevo departamento universitario que reorganizar los cursos y las escuelas que ya están en funcionamiento. Sin embargo, los accidentes de la historia imponen a veces una carga demasiado pesada o bloquean demasiadas posibilidades de desarrollo profesional y de mejor servicio a la comunidad. Según El-

Baroudi, Sachdev y Hamoudi ésta es la situación que existe hoy día en la ingeniería del medio ambiente. Estos autores, desde el punto de vista de la experiencia de alto nivel, adquirida tanto en los países en desarrollo como en los países desarrollados, consideran necesario reestructurar la práctica y la enseñanza para reflejar las nuevas necesidades de los clientes.

Por tanto, este es otro ejemplo de la adaptación de una profesión a un nuevo ambiente de trabajo. Algunos órganos profesionales y académicos son autónomos mientras que otros están estrechamente controlados por el Estado, pero es la concepción del pasado, del presente y del futuro lo que facilita el cambio en ambos casos. En efecto, sólo mediante el establecimiento de modelos podemos manejar los objetivos y las exigencias con las que nos enfrentamos en una situación compleja. El Baroudi, Sachdev y Hamouda ofrecen un modelo en la esperanza de que los lectores medirán su validez confrontándola a su propia experiencia en la educación y en la práctica profesional.

### **Apertura al cambio**

Pertrechado con algunas de las ideas y las sugerencias expuestas en los tres primeros artículos, el administrador académico debe tomar decisiones de las que será el responsable final. En toda escuela pueden prescribirse nuevos temas para sustituir a los antiguos, pueden implantarse nuevos métodos para reemplazar a los que han tenido relativamente poco éxito y pueden nombrarse y adquirir influencia nuevos profesores. Sin embargo, la garantía de que tales cambios se harán con la prontitud necesaria, de que serán verdaderas mejoras y no simples modificaciones, de que serán asimilados y resultarán provechosos, no puede derivarse de la sabiduría o la fuerza del administrador principal en ningún momento de la historia de la escuela. Esto sería exigir y delegar demasiado. La salvaguardia final radica en el carácter de la propia escuela, en la existencia de una cultura pedagógica colectiva (entre el personal docente pero también entre los estudiantes) y en la capacidad del sistema para permanecer abierto al cambio.

La mayoría de los administradores parecen suponer que la estructura y la dotación de personal de una escuela deben decidirse, de una vez por todas, en el momento en que se sabe qué tipo de enseñanza y de investigación va a realizarse en la escuela. En otras palabras, se concibe la estructura como un episodio. El cuarto artículo de la serie adopta, por el contrario, un punto de vista dinámico de la organización académica. La estructura y el contenido educativo son concebidos como interactivos y mutuamente fecundantes.

Es evidente que algunas decisiones sobre organización deben

tomarse desde el principio. Estas decisiones deben, por supuesto, dejar posibilidades de revisión. Sin embargo, deben también proveer deliberadamente las condiciones en las que las nuevas necesidades de la enseñanza puedan satisfacerse con nuevas medidas docentes, en las que los resultados de la investigación puedan influir inmediatamente en el contenido educativo y en las que la esencia del contenido sea un reflejo de una preocupación colectiva por el medio ambiente.

La idea de una estructura dinámica no es nueva y se han hecho muchos esfuerzos y experimentos en relación con ella. El último artículo examina algunos de los sistemas que se han utilizado y los analiza críticamente en cuanto vehículos de la educación sobre el medio ambiente. El autor sugiere también algunos criterios para la evaluación de las estructuras académicas en general, así como del nombramiento y rendimiento del personal docente. Menciona particularmente las necesidades específicas del profesor no ingeniero que ejerce en una escuela cuya principal función es la enseñanza de la ingeniería.

# Las ciencias del trabajo y el ingeniero

Gideon Gerhardsson

*La salud ocupacional debería tender: a la promoción y al mantenimiento del máximo grado de bienestar físico, mental y social de los trabajadores en todas las ocupaciones; a la prevención entre los trabajadores de las desviaciones de la salud producidas por sus condiciones de trabajo; a la protección de los trabajadores en su empleo contra los riesgos resultantes de factores adversos a la salud; a la colocación y al mantenimiento del trabajador en un ambiente laboral adaptado a sus condiciones fisiológicas y psicológicas y, en resumen: a la adaptación del trabajo al hombre y de cada hombre a su tarea. Comité mixto OIT-OMS de la medicina del trabajo (1950)<sup>1</sup>*

## Introducción

Las universidades técnicas tienen muchos clientes: estudiantes, empleadores, asociaciones profesionales, trabajadores y público en general. Cada grupo de clientes puede pedir en un momento u otro una ligera modificación de los programas o una óptica diferente. Como si esos conflictos incipientes no fueran suficientes, el profesor de ingeniería se enfrenta con los problemas del cambio y la expansión. La importancia de los temas aumenta o disminuye. Aparecen nuevas materias y en cada una de ellas el conocimiento se extiende y se profundiza.

Ligado al conflicto y al cambio está el problema de la interrelación. En el dominio de la ingeniería y la gestión, el enfoque sistémico nos ha obligado a reconocer que los factores influyen unos sobre otros y que cualquier sistema debe entenderse como un todo si queremos alcanzar los resultados apetecidos. En la enseñanza de la ingeniería, la integración del conocimiento no es sólo difícil, sino que exige a profesores y estudiantes una entrega de tiempo adicional.

---

1. OMS. Serie de informes técnicos, n.º 66, p. 2. Ginebra 1952.

Aunque muchas personas dicen reconocer la necesidad de que los ingenieros tengan una formación amplia, son con frecuencia las materias no técnicas las que corren mayores riesgos de ser eliminadas del programa de estudios, y aunque los ingenieros han aprendido a aplicar la filosofía de sistemas al describir, proyectar y controlar sistemas físicos, persisten en aplicar un enfoque instrumental a los problemas que plantean el ambiente de trabajo y el diseño de tareas. No es que sean inhumanos, sino simplemente que consideran al trabajador como un componente. Si este componente causa o padece problemas (ausentismo, mala salud, accidentes, aburrimiento, por ejemplo) son otros expertos los que deben intervenir.

El ingeniero tiende a interesarse por la eficacia y la optimización. En su formación técnica, estos conceptos pueden definirse rigurosamente. No es sorprendente que el reduccionismo se haya extendido a los elementos humanos de los sistemas sociotécnicos, con resultados que a veces sólo han sido temporales pero que en ocasiones han llegado a adquirir las dimensiones de un desastre social.

Sin embargo, las cosas están cambiando en el dominio del ingeniero y en ningún sector tan deprisa como en el del ambiente de trabajo. Hoy día se ve más claramente que los accidentes y las enfermedades industriales son evitables. Se reconoce que el tedio y la anomia no son la culpa del trabajador. Se entiende el trabajo como una actividad social en el que el salario, aunque importante, no es la única recompensa. Las ciencias del trabajo tienen mucho que aportar para resolver esos y otros problemas.

Podemos designarlas en plural, pero tratarlas simplemente como un conjunto de temas inconexos tomados de las ciencias biológicas y sociales sería perjudicial desde los puntos de vista educativo y profesional. No hay ningún sector de la enseñanza de la ingeniería en el que sea más necesario un enfoque integrado. La intención de este capítulo es mostrar no sólo lo que debe ser enseñado, sino también cómo el programa de estudios puede reunir los conocimientos disponibles y conducir a la comprensión (aunque no puede garantizarla) de todo lo que entendemos por ambiente de trabajo. En las difíciles condiciones sociales y económicas que nos esperan, esta comprensión entre los ingenieros tendrá una importancia esencial.

## DESARROLLO

El mejoramiento del nivel de vida depende principalmente del potencial de producción. Los esfuerzos para promover el crecimiento se basan con frecuencia en un enfoque a corto plazo que apenas deja sitio para el planeamiento a largo plazo. Aparecen constantemente nuevas fuentes de energía, nuevos materiales y nuevos procesos de trabajo que sustituyen

en gran parte a los antiguos. Las direcciones de desarrollo que deseemos seguir deben basarse tanto en las condiciones que existen ahora como en las que queremos que existan en el futuro. El gran problema es cómo utilizar los recursos disponibles de la manera más eficiente. Los recursos humanos son los más valiosos de todos.

Las preocupaciones por el ambiente de trabajo no están en modo alguno limitadas a los países que poseen un alto nivel de vida económico. La ola de la industrialización se está extendiendo a todo el mundo. El hambre y la pobreza se están combatiendo con métodos de producción transmitidos en gran parte desde los países que ya están altamente industrializados, pero deben aplicarse en sociedades cuyas condiciones difieren en su totalidad o en parte de aquéllas en las que dichos métodos se desarrollaron gradualmente. Por otra parte, este proceso avanza a un ritmo que deja incluso menos tiempo para el ajuste a las condiciones en que se supone deben vivir y trabajar los individuos.

En los países en desarrollo, el problema más urgente será durante muchos años crear la mayor cantidad posible de empleo con un mínimo de inversión de capital. Aunque el nivel actual de la inversión está impulsando la demanda de trabajo a un ritmo impresionante, las nuevas tecnologías también están incrementando el desempleo, particularmente entre las capas menos educadas. Son los jóvenes los más duramente afectados por el creciente desempleo. Incluso los que tienen una formación universitaria parecen desalentados en su búsqueda de trabajo y muchos que poseen una buena formación teórica pero carecen de experiencia práctica tienen que competir por empleos modestamente retribuidos. Esta élite joven pero inadaptada puede convertirse en un elemento peligroso en las esferas política e ideológica.

Los programas destinados a conseguir y mantener un buen nivel de salud entre la población trabajadora, así como a crear un ambiente aceptable en el lugar de trabajo, deben tener en cuenta el grado de desarrollo tecnológico del país de que se trate. Los cursos sobre ciencia del trabajo deben reflejar también ese grado de desarrollo sin perjuicio de tener en cuenta los niveles que puedan ser alcanzados y exigidos más adelante por los trabajadores.

#### EL CONCEPTO INTERDISCIPLINARIO

La ingeniería se ocupa de la producción y la construcción, y su base académica se encuentra en las ciencias físicas y naturales, la tecnología, la organización industrial y la economía. Los trabajadores del campo de la ingeniería son el tema de las ciencias sociales y las ciencias del comportamiento. Las ciencias del trabajo ocupan un lugar intermedio entre esos dos dominios y, por lo tanto, son interdisciplinarias por naturaleza. La figura 1 indica algunos de sus principales componentes.

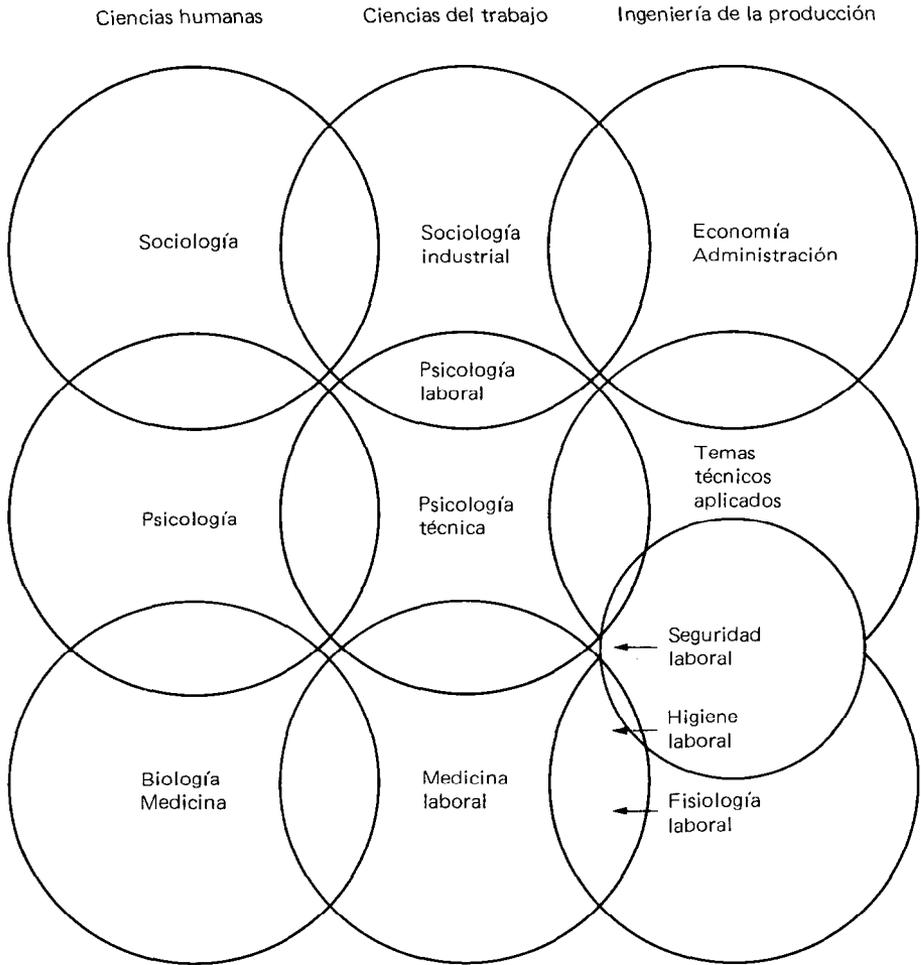


FIG. 1. Las ciencias del trabajo tienden un puente entre las ciencias humanas y la ingeniería de la producción.

*Accidentes y seguridad.* Este componente se ocupa de las causas de los accidentes, los tipos de accidentes, la propensión a los accidentes, las probabilidades aleatorias, los factores individuales, los factores técnicos, las estadísticas sobre seguridad, los estudios de frecuencia y la legislación.

*Medicina e higiene del trabajo.* Reflejan el efecto del medio ambiente sobre la salud. Se basan en la toxicología, la fisiología, la ecología y la tecnología. Estudian la acción de los factores físicos y químicos sobre el ser humano y establecen medidas técnicas para analizar

esos factores y eliminar los no deseados (criterios ergonómicos).

*Fisiología del trabajo.* Se basa en la anatomía y la fisiología. Se ocupa de la relación entre el cuerpo humano y su funcionamiento. También estudia la influencia de los factores ambientales, como la vibración o el microclima del lugar de trabajo, sobre el rendimiento.

*Psicología técnica.* Se basa en la psicología aplicada. Estudia el diseño práctico de sistemas técnicos y los adapta al modo de funcionar de los seres humanos. Por ejemplo, los tableros de control deben diseñarse de manera que se ajusten a las percepciones y a las reacciones sensoriales y fisiológicas humanas.

*Psicología del lugar de trabajo.* Se ocupa de las relaciones entre los individuos y los grupos. La empresa o lugar de trabajo se considera como un sistema que debe actualizarse constantemente para mejorar el clima psicológico en función de las necesidades y los deseos de cada ser humano. También se ocupa de la influencia de las condiciones del lugar de trabajo sobre la vida fuera de él y viceversa.

*Sociología industrial.* Estudia cómo está organizada la empresa. Las distintas funciones se analizan y modifican continuamente. Su objetivo es mantener una producción eficiente aumentando al mismo tiempo la satisfacción de las personas que trabajan en la empresa. La sociología industrial estudia las necesidades de la empresa como sistema técnico y social.

*Ergonomía de sistemas.* Procura establecer métodos para el análisis general de la interacción hombre-máquina-medio ambiente. Volveremos sobre este punto en la sección “Las ciencias del trabajo y el medio ambiente”.

## **El trabajador**

### LIMITACIONES BIOLÓGICAS

Puede decirse que el hombre tiene que adaptarse a tres escalas de tiempo diferentes: la biológica, la tecnológica y la social. Un ajuste simultáneo satisfactorio a esas tres cronologías no es siempre fácil de conseguir. El aumento de la población, la urbanización y la industrialización crean problemas sumamente diversos y variables según el grado de desarrollo técnico.

Aunque la esperanza de vida del hombre ha aumentado, sus características biológicas fundamentales no han cambiado apreciablemente desde el principio de la historia. Se cree que su capacidad innata de rendimiento es la misma que hace muchos miles de años. La evolución celular y las reacciones individuales también son las mismas. El cerebro

humano recibe más formación hoy día que en otras épocas, pero tiene aproximadamente la misma capacidad. Sin embargo, como nuestras probabilidades de alcanzar una edad avanzada son mayores, surgen muchos problemas nuevos, como el de adaptarse al cambio profesional y social.

Estos problemas son más intensos para el individuo, debido a que la pauta cronológica de las funciones vitales sigue una curva de ascenso continuo hasta un máximo que persiste durante un corto tiempo, después del cual comienza una declinación más o menos lenta. En la producción industrial moderna, las limitaciones biológicas del hombre se acentúan únicamente al cabo de veinte a veinticinco años de vida.

#### CAMBIOS TECNOLÓGICOS

Durante miles de años se hicieron pocos progresos tecnológicos. La revolución tecnológica empezó con la máquina de vapor en el siglo XVIII y con el descubrimiento de la electricidad y del motor de combustión interna en el siglo XIX. Ahora, en la era del átomo, de las materias plásticas y del espacio, apenas es ya posible seguir el progreso tecnológico si no es mediante una extrema especialización en campos cada vez más estrechos. Las condiciones están cambiando a un ritmo constantemente acelerado y el cambio tecnológico está teniendo ramificaciones cada vez más profundas en casi todos los aspectos de nuestras vidas. Los procesos industriales requieren cada vez más una mano de obra joven, excluyendo a las personas de más edad y a los minusválidos. Es necesario invertir esta tendencia para impedir que una proporción cada vez mayor de personas de edad y de deficientes quede excluida del trabajo productivo.

#### CAMBIOS SOCIALES

La escala social del tiempo está situada entre las escalas biológica y tecnológica. Antes de la revolución industrial, hace poco más de doscientos años, el hombre vivía en un mundo estático en el que las condiciones de vida se consideraban como invariables. Los principales cambios sociales se produjeron en conexión con la expansión de la tecnología. Los cambios en la sociedad no ocurren tan rápidamente como los cambios en la tecnología. En el futuro, el cambio tecnológico tendrá una importancia decisiva para las condiciones económicas y sociales del mundo. Nuevas fuentes de energía, nuevos materiales y nuevos procesos sustituirán a los antiguos. En consecuencia, la sociedad, la fábrica, la granja y la oficina de mañana tendrán poco parecido con las de hoy, tanto en la forma de trabajar como en las actitudes sociales frente al trabajo.

## PROPÓSITO DE LAS CIENCIAS DEL TRABAJO

La investigación actual en la esfera de las ciencias del trabajo se ocupa de integrar estas tres pautas de cambio: la biológica, la tecnológica y la social, con todas las limitaciones y las posibilidades que esto encierra. El objetivo de la investigación es describir e interpretar las consecuencias de las nuevas demandas y tensiones impuestas por el ambiente de trabajo sobre el individuo y tratar de satisfacer las demandas que el individuo hace a su ambiente de trabajo. Esto se logra mediante la investigación aplicada y el aprovechamiento de los resultados de la investigación y la experiencia en campos especializados. El objetivo es llegar a la síntesis más útil posible para la industria, el individuo y la sociedad y que conduzca a un nuevo aumento general de los niveles de vida reales.

La investigación clásica en la esfera de las ciencias del trabajo se ocupaba principalmente de los aspectos clínicos del tratamiento de los accidentes causados por las máquinas y de las diversas maneras de prevenir las lesiones directas durante el trabajo. La fase siguiente se concentró en prevenir también las enfermedades profesionales y la deterioración física evitable. La tercera fase, la actual, está dirigida a crear condiciones de trabajo óptimas. A fin de alcanzar este objetivo, el ambiente industrial debe considerarse en su integridad y como una parte de la sociedad en su conjunto. Problemas tales como el hombre adecuado en el lugar adecuado, la satisfacción en el trabajo y la interacción de los factores que actúan en el trabajo y fuera de él adquieren así una dimensión completamente distinta.

## JERARQUÍA DE NECESIDADES

Los cambios sociales tienen una gran influencia sobre las necesidades humanas. Hay diferentes teorías sobre la estructura de las necesidades humanas y sus cambios a lo largo del tiempo. Se hace una diferencia entre necesidades primarias innatas de cosas tan fundamentales como el alimento, la bebida, el sueño, el sexo, etc. y necesidades secundarias adquiridas, tales como las derivadas de los hábitos y de la afiliación a un grupo social, por ejemplo, la de alcohol y nicotina. En muchos casos, la jerarquía de necesidades descrita por Maslow ofrece un modelo útil. Este modelo puede ilustrarse en forma de varios niveles. Tenemos que satisfacer primero el nivel inferior de necesidad antes de interesarnos seriamente por el nivel siguiente.

Maslow coloca las necesidades humanas en el orden de prioridad siguiente:

*Necesidades fisiológicas.* Las necesidades que primero deben satisfacerse son las concernientes a la supervivencia física, es decir, la comida, la bebida y la vivienda. Mientras estas necesidades básicas no puedan

satisfacerse, es probable que el principal interés del individuo esté dirigido hacia este nivel. Los demás niveles no son interesantes. Un nivel de necesidades que ha sido ya satisfecho suscita, por el contrario, poca motivación en el futuro.

*Seguridad.* Cuando nuestras necesidades fisiológicas básicas han sido satisfechas, pasan a primer plano nuestras necesidades de seguridad. Nos referimos aquí a estar libres del temor al peligro físico y del miedo a que nuestras necesidades fisiológicas básicas no sean satisfechas.

*Pertenencia social.* Cuando nuestras necesidades fisiológicas y nuestra necesidad de seguridad han sido satisfechas, nuestra necesidad de pertenencia social y compañía se convierte en un factor dominante en la jerarquía de necesidades. Como animal social, el hombre necesita sentir una afinidad con otros seres humanos. A este nivel, el individuo aspira a relaciones significativas con otras personas.

*Estima.* Una vez satisfecha la necesidad de pertenencia social, el individuo ya no se contenta con ser miembro del grupo, sino que necesita también estima, tanto la propia estima como la estima de los otros. Puede observarse que muchos problemas sociales tienen su raíz en la frustración del intento de satisfacer esas necesidades de estima.

*Realización personal.* Cuando el nivel precedente ha sido satisfecho, la realización personal pasa a ser el interés dominante. Por realización personal entendemos desarrollar las propias capacidades hasta su pleno potencial: ser todo lo que uno puede ser.

La relación entre motivación y comportamiento es compleja, pero el sencillo modelo de Maslow parece coincidir bien con la realidad. La motivación social de un individuo y las necesidades sociales se desarrollan mediante una constante interacción con otras personas. Esta interacción comprende comparaciones con otros. En la esfera profesional, es necesario tomar en consideración tanto la estructura horizontal de las necesidades, que incluye las demandas de empleo por parte de los grupos de población desfavorecidos en un determinado momento, como la estructura vertical de las necesidades, que está relacionada con el cambio de las necesidades a lo largo del tiempo y el grado de desarrollo de cada grupo profesional interesado. Tales comparaciones se hacen tanto para establecer prioridades como para prever el cambio continuo de los niveles de ambición, es decir, el aumento de las demandas individuales. Sin embargo, estas demandas deben considerarse en relación con las posibilidades reales de satisfacerlas. Debe haber diferentes soluciones abiertas a debate. Si tales cuestiones no se incluyen en su educación, los ingenieros encontrarán ulteriormente grandes dificultades en su vida profesional.

## EL TRABAJADOR

Para conseguir una interacción óptima entre los individuos y un sistema tecnológico debemos conocer no sólo este sistema sino también, y muy especialmente, al propio hombre y sus características fundamentales como organismo vivo. La célula viva ofrece las condiciones previas necesarias para la reproducción, la asimilación de nutrientes, el metabolismo, los ciclos energéticos, el crecimiento, la excreción, la sensibilidad a la estimulación. El conocimiento del sistema esquelético, las articulaciones, la musculatura, etc., es necesario para evaluar la carga de trabajo y los tipos de movimiento. El metabolismo depende de los órganos digestivos, los órganos respiratorios, los órganos excretores, los órganos circulatorios y el aparato de secreción interna. El sistema nervioso forma con los órganos sensoriales la base de todo el aprendizaje y prácticamente de todas las reacciones.

Todos esos órganos funcionan de un modo que puede fácilmente perturbarse. El aparato locomotor, por ejemplo, está controlado por el sistema nervioso. Ciertos trastornos de las secreciones internas producen cambios característicos en el aparato locomotor, etc.

El conocimiento elemental de los mecanismos que determinan las capacidades y las limitaciones del cuerpo humano en diferentes situaciones de trabajo es un requisito previo esencial para comprender los criterios que deben aplicarse más tarde en las situaciones prácticas.

Como hemos visto en el modelo de Maslow, podemos tener diferentes niveles de ambición en nuestras tentativas de ajuste profesional. El nivel primario comprende el mantenimiento de la seguridad y la salud humanas. Un nivel superior entraña la satisfacción de varias necesidades humanas subjetivas.

### **Adaptación del trabajo al trabajador**

#### RIESGOS Y ANÁLISIS DE RIESGOS

Los trabajadores pueden estar expuestos a muchos riesgos diferentes. En el tratamiento convencional de este tema en las escuelas de ingeniería, la descripción de los riesgos se limita con frecuencia a los diferentes tipos de accidentes, lesiones, etc. y a la distribución estadística de tales incidentes entre las distintas industrias y actividades. Sin embargo, es importante que el estudiante se familiarice también con la forma en que se perciben y experimentan los riesgos, con la psicología de los errores y con la diferencia entre riesgos voluntarios e involuntarios. En muchas situaciones, las personas combinan los riesgos involuntarios con los voluntarios y, en ciertos casos, estos últimos son mil veces mayores que

los primeros. También hay que diferenciar entre riesgos que afectan a los individuos y riesgos que afectan a grupos enteros de personas.

En el análisis de riesgos se intenta determinar los errores o las disfunciones potenciales que pueden causar lesiones corporales o daños a la maquinaria o al equipo. Debe establecerse la relación entre tales incidentes y la gravedad y extensión de sus eventuales consecuencias. También debe determinarse la posibilidad de las consecuencias con la mayor certeza posible. Sobre la base de este análisis se formulan luego propuestas para disminuir los riesgos. Esto puede conseguirse reduciendo las posibilidades de error o mal funcionamiento, limitando sus consecuencias, o combinando ambos medios. La automatización total o parcial de los procesos, el adecuado adiestramiento del personal, etc. son otros tantos medios de reducir esa probabilidad. Las consecuencias pueden limitarse mediante varias disposiciones de seguridad o realizando las operaciones peligrosas en lugares aislados.

El análisis de riesgos debe realizarse en las primeras etapas del diseño de la fábrica o de la obra. Este enfoque estratégico no intenta únicamente limitar los riesgos una vez que el ambiente de trabajo está finalmente creado, sino que también es una manera de ahorrar dinero. Unas medidas que podrían tomarse con un gasto del 5 al 10 por ciento del costo total en las primeras fases del diseño, pueden exigir un gasto del 30 al 40 por ciento si la corrección tiene que hacerse más tarde. También es importante recordar que el análisis de riesgos debe incluir los que pueden surgir durante la construcción y la instalación. Esto no significa que el análisis tenga que hacerse con gran detalle. Su complejidad debe ser proporcional a la escala del proyecto. Una modesta inversión de tiempo y de reflexión puede proporcionar una imagen general importante de las situaciones de riesgo preponderantes y ayudar a decidir cuándo y dónde hacen falta estudios más detallados.

En un análisis general de riesgos se procura enumerar todos los riesgos característicos y describirlos en términos cuantitativos. Pueden utilizarse las siguientes categorías: grado de desviación con respecto al curso normal de los acontecimientos; factor desencadenante; efectos; consecuencias. El riesgo se describe tanto por su probabilidad como por sus consecuencias. El análisis general de un departamento puede incluir lo siguiente: *a)* disposición del departamento; *b)* esquema de procesos y de circulación; *c)* lugares de trabajo y de producción; *d)* equipo de control, supervisión y seguridad; *e)* transporte de materiales y productos; *f)* condiciones ambientales.

Sobre la base de este cuadro general se identifican los riesgos y se cuantifican las posibilidades y las consecuencias. Las medidas correctivas pueden tender a reducir tanto las probabilidades como las consecuencias; en ciertos casos, las medidas pueden dirigirse hacia unas u otras. Las recomendaciones pueden afectar a los procesos, la circulación y la

disposición, las especificaciones de las instalaciones de producción y los dispositivos de seguridad, la situación y la iluminación del lugar de trabajo, la capacitación, los servicios de urgencia, la inspección y la redacción de los informes, los avisos y las instrucciones.

#### CONTACTOS SOCIALES

Las personas tienen necesidad del contacto social, pero a veces también de intimidad. En efecto, se ha dicho que la disposición al trato social está relacionada con la libertad de retirarse. Ambas necesidades, y la posibilidad de elegir entre ellas, deben reflejarse en el diseño y el trazado de los lugares de trabajo.

Los bancos, las mesas de trabajo y las máquinas pueden colocarse unas en frente de otras. Cerca del lugar de trabajo conviene que haya zonas de reposo. Las oficinas también pueden colocarse adyacentes a los talleres. Esta disposición facilita los contactos entre los empleados de talleres y los empleados de oficinas, por ejemplo entre jefes y capataces.

#### COOPERACIÓN

Las tareas de los trabajadores deben proyectarse de modo que la cooperación sea fácil cuando haga falta y se promueva cuando pueda enriquecer la recompensa social que los trabajadores obtienen de sus empleos. Con frecuencia conviene estimular el trabajo en equipo y su introducción está relacionada con el problema de ampliación de la tarea que se examina más abajo.

#### DEPENDENCIA CON RESPECTO A LA MÁQUINA

Esta dependencia se produce cuando un individuo está tan ligado a su máquina que no puede abandonar su lugar de trabajo. Más que la automatización en cuanto tal, ella parece constituir un factor importante de insatisfacción en el trabajo. La dependencia con respecto a la máquina puede reducirse introduciendo almacenes amortiguadores (véase más abajo), que permiten a los trabajadores abandonar su lugar de trabajo durante cortos períodos. La alimentación automática de las máquinas mediante tolvas y dispositivos análogos aumenta también la libertad de movimientos. En general, cuanto menor es la parte manual del ciclo de trabajo, mayor es el grado de libertad de que se disfruta.

#### AMPLIACIÓN DE LAS TAREAS

Las tareas pueden hacerse más interesantes introduciendo diferentes tareas accesorias o subtareas además de la tarea principal. Como ejem-

plo de tales tareas accesorias cabe citar las operaciones de mantenimiento, por ejemplo de las herramientas y otros equipos, las funciones preparatorias de la producción, el movimiento de materiales y productos, la administración de almacenes, las inspecciones, etc. Estas tareas aumentan el grado individual de independencia y responsabilidad al mismo tiempo que reducen el riesgo de interrupciones.

Un mayor grado de responsabilidad por la calidad del producto y el ambiente de trabajo aumenta la satisfacción del trabajador con su labor y su dedicación a ella. Las funciones de mantenimiento pueden introducirse confiando al personal de producción tareas individuales de mantenimiento y organizando el trabajo en grupos de producción. Las tareas de mantenimiento más adecuadas para integrarlas en la producción son el mantenimiento cotidiano y la reparación de equipo y herramientas, la lubricación, la inspección de partes vitales y del desgaste de las máquinas, los servicios semanales y la limpieza. Como ejemplo de tareas preparatorias de la producción cabe citar el montaje y el cambio de herramientas y máquinas, los ajustes, etc.

Si se confían al personal de producción las tareas del movimiento de materiales y productos dentro de pequeñas unidades de producción y entre unas y otras, pueden intercalarse almacenes amortiguadores entre las distintas operaciones industriales. El hecho de que los propios trabajadores de la producción utilicen el depósito de suministros permite tener unidades de almacenamiento más pequeñas, utilizar almacenes comunes a varios puestos de trabajo y mejorar su grado de utilización y accesibilidad. Si el control de la calidad se confía parcial o totalmente al personal de producción resulta más fácil organizar las operaciones de inspección y con frecuencia es posible mejorar la calidad de los productos. La ampliación de la tarea se ha conseguido a menudo en la industria de la construcción adiestrando a los trabajadores en diferentes sectores de ocupación. Por ejemplo, puede adiestrarse con frecuencia a los soldados en otros trabajos de metalistería. Sin embargo, en algunos países y situaciones, los sindicatos pueden oponerse a ello.

Las tareas pueden ampliarse verticalmente añadiendo responsabilidades y atribuciones. Pueden aumentarse gradualmente las funciones de los supervisores, los ingenieros de producción y otros. Los ciclos de trabajo pueden extenderse integrando operaciones de producción sucesivas o tareas similares. Las posibilidades de conseguirlo dependen de la técnica de producción que se elija. Por ejemplo, la supervisión continua de un proceso automatizado es difícil de combinar con la ampliación de la tarea. Mediante la automatización pueden suprimirse las tareas monótonas o penosas y establecerse una mejor combinación de funciones laborales. Las computadoras también pueden eliminar las tareas rutinarias tediosas, dejando libres a los seres humanos para la innovación y el uso del pensamiento. Sin embargo, la disminución del empleo por efecto de

la automatización y de las computadoras se está convirtiendo rápidamente en un importante problema en los países desarrollados, problema que sobrepasa el alcance de este artículo.

#### PAUSAS, PERIODOS DE REPOSO Y TRABAJO EN TURNOS

El horario de las pausas y descansos es una cuestión importante. Muchas funciones del cuerpo humano están ajustadas a una alternancia rítmica entre el esfuerzo y la recuperación, entre el trabajo y el reposo. Esto se aplica, por ejemplo, a los músculos y, en no menor medida, al corazón. Se ha demostrado que la realización frecuente de horas extraordinarias disminuye el rendimiento por hora y aumenta el ausentismo debido a enfermedades y accidentes.

Las publicaciones científicas contienen estudios esclarecedores sobre las horas de trabajo, los periodos de reposo y las pausas, así como sobre su influencia en la producción. Se han calculado las necesidades de energía para la mayoría de los tipos de trabajo que exigen un esfuerzo muscular. La duración y la frecuencia necesarias de las pausas pueden determinarse en base a la carga de trabajo físico y sus variaciones. También pueden determinarse la velocidad a la que debe realizarse la tarea, las exigencias que se imponen a la concentración, las actividades psicomotrices, el gasto de energía, los órganos sensoriales, etc. La mecanización y la automatización crecientes, unidas a las inversiones cada vez mayores en equipo costoso, aumentan la necesidad del trabajo por turnos. Ciertos procesos de fabricación, por ejemplo en las industrias química, papelera y del acero, no pueden interrumpirse sin grandes dificultades, costos o retrasos. Sin embargo, el ritmo diario de una persona depende de factores fisiológicos y psicológicos. Se tarda mucho tiempo en modificar los hábitos humanos.

El trabajo en turnos no es adecuado para las personas que no pueden adaptarse satisfactoriamente a los cambios de horarios. Se han ensayado varios sistemas distintos de turnos. Una regla fundamental es que los turnos de noche deben ir seguidos de un descanso suficientemente largo y que debe haber posibilidades de dormir sin interrupciones.

#### EVALUACIÓN DE TAREAS

La evaluación de tareas tiene por objeto medir las exigencias impuestas por la tarea. Existen diferentes métodos para medir la habilidad, el rendimiento y otras variables. La experiencia ha demostrado que incluso los sistemas imperfectos de evaluación de tareas son mejores que la falta de ellos. La evaluación de la cantidad de trabajo que exige una tarea permite mayor equidad al establecer diferencias de salarios. Este tema se sale probablemente del alcance de los cursos universitarios.

## ANÁLISIS DE SISTEMAS

Cuando los seres humanos se incorporan a un sistema tecnológico, debe procurarse ofrecer una variedad organizada de tareas. Los seres humanos interactúan con los componentes técnicos de distintas maneras. Desde el punto de vista de las ciencias del trabajo es con frecuencia necesario dividir el desarrollo tecnológico en diferentes etapas. Un ejemplo corriente son las etapas de la mecanización.

Una etapa inicial de la mecanización se caracteriza por el hecho de que la tarea del individuo es todavía relativamente variada y permite a éste controlar su propia situación de trabajo. En este nivel industrial predomina la combinación hombre-herramienta. Las primeras formas de trabajo manual pertenecen a esta categoría. El rendimiento total es relativamente limitado y depende principalmente de cada persona y de sus capacidades. La combinación se basa en una sencilla organización.

La segunda etapa es la combinación hombre-máquina. En este nivel intermedio, el individuo está controlado por su máquina o por la rutina mecánica. Su trabajo está determinado en gran medida por otras personas, tales como los diseñadores de máquinas, los ingenieros proyectistas, los ingenieros planificadores del trabajo, etc. El trabajo consiste en movimientos que se repiten en una sucesión relativamente fija. La postura de trabajo, los dispositivos de control, etc., determinan su forma de trabajar y se encuentra encerrado en un horario que ofrece pocas variaciones. La producción es elevada y muchas veces superior a la propia capacidad del individuo. Sin embargo, en esta etapa, la organización sigue siendo sencilla, por ejemplo en la combinación hombre-máquina forestal.

La etapa siguiente son los sistemas hombre-máquina en los que más de una persona trabajan juntas de una manera compleja. En este grado de mecanización, el trabajador está de nuevo liberado de su máquina. Las máquinas desempeñan muchas de las operaciones repetidas de control y alimentación. El trabajador disfruta de más libertad para elegir sus propias pautas de movimiento y actividad física. Sin embargo, se imponen más exigencias a sus órganos sensoriales y a su vigilancia, así como a su capacidad para hacer juicios rápidos y tomar decisiones.

Un paso más en esta etapa hace que el individuo esté ligado a la maquinaria pero teniendo rara vez que intervenir en el proceso de la producción. Las exigencias físicas son pocas. Las exigencias psicológicas también son relativamente modestas en lo que se refiere al proceso continuo de trabajo, pero las exigencias de acción independiente son mayores cuando sucede algo inesperado. Las exigencias psicológicas son un alto nivel de vigilancia y preparación junto con la capacidad para actuar rápida y correctamente en situaciones anormales. Los individuos están más aislados y la presentación de situaciones difíciles e inesperadas puede aumentar la tensión.

## **Las ciencias del trabajo y el programa de estudios**

### PROBLEMAS QUE PLANTEA EL PROGRAMA DE ESTUDIOS

En otra parte de este artículo se señala que una simple enumeración de conocimientos sólo ofrece al profesor un sumario. Para crear un programa de estudios, los bloques del conocimiento elegidos deben traducirse en una profunda experiencia educativa que tenga un efecto duradero sobre la competencia y las actitudes del estudiante.

Esto pone al autor frente a frente con el riesgo de una paradoja. Entre los objetivos que estamos buscando en las ciencias del trabajo están la mejora de la satisfacción en el empleo, el enriquecimiento de las tareas, el aumento de la participación y la intervención. Sin embargo, los profesores y los estudiantes también pueden necesitar eso en la universidad. Como es lógico no pretendemos prescribir a una prudente distancia y con un detalle rígido y excesivo la labor que tienen que hacer los profesores y los estudiantes en ciencias del trabajo. Tenemos que considerar el establecimiento de un programa de estudios eficaz como un proceso, que constituye por sí mismo un tipo de experiencia de aprendizaje.

Una vez hecha esta salvedad plantearemos algunas cuestiones. ¿Cuáles serían las exigencias de cada etapa de la enseñanza de la ingeniería, desde el punto de vista del programa o de las horas de estudio?

La enseñanza consume el tiempo de los profesores y el aprendizaje el de los estudiantes. Además, en todo periodo de cambio (y estamos pensando en cambios de los procesos y actitudes industriales, en cambios de la legislación y en cambios en la universidad) los profesores también tienen que pasar tiempo aprendiendo. Todo responsable y planificador de un programa de estudios para la enseñanza de la ingeniería es consciente de la escasez de tiempo. Por consiguiente, el análisis del tema que nos ocupa pone de manifiesto una situación de competencia e incluso aún de conflicto. Tenemos que estar dispuestos a un compromiso, porque todo programa de estudios lo lleva implícito.

Un terreno de compromiso es el problema de las etapas. Algunas materias pueden parecer esenciales a nivel universitario, mientras que otras pueden o tal vez deben dejarse para los cursos postuniversitarios y especializados. El problema es que no deben omitirse ciertas cosas porque son fundamentales y que otras no se aprenderán completamente hasta que el estudiante tenga cierta experiencia profesional.

¿Cómo podemos suscitar la motivación de los estudiantes? Es evidente que el afán de aprender puede ser innato, como resultado de una curiosidad natural y un interés intelectual. Es necesario que estas cualidades no escaseen al estudiar las ciencias del trabajo. Sin embargo, puede hacer falta algo más. La mayoría de los profesores coinciden en

que la aplicabilidad es un factor importante en la formación general de los ingenieros. Parece además que la conexión con otras materias académicas tiene menos importancia que la aplicabilidad respecto del futuro cometido profesional y los problemas que éste entrañará. Esto constituye un desafío para nuestra capacidad como educadores debido a que, en cuanto especialistas en ciencias del trabajo, vemos poca utilidad en la coerción y en las amenazas de fracaso en los exámenes.

El último problema que mencionaremos aquí se refiere al reclutamiento de profesores. Esto es importante porque los profesores (sus valores y actitudes) forman parte de la experiencia educativa, forman parte del plan de estudios. ¿Es preferible tener un ingeniero que haya sido convenientemente formado en ciencias del trabajo (y que pueda tal vez transmitir mejor la aplicabilidad a los ojos de los estudiantes) o un especialista en ciencias del trabajo que pueda ofrecer un conocimiento más profundo y esté probablemente más al tanto de la investigación en curso (o participe en ella)? Aunque no hay una respuesta general para esta pregunta, esto no significa que los nombramientos deben hacerse sin considerar sus consecuencias. Los profesores que intervienen en una enseñanza interdisciplinaria deben reconocer las desventajas y las limitaciones inherentes a sus diversos antecedentes y tratar de compensarlas de las maneras más apropiadas.

#### POLÍTICA DE PLANES DE ESTUDIOS

Enunciaremos ahora algunos principios que podrían servir de base a la enseñanza de las ciencias del trabajo en las escuelas de ingeniería.

1. Teniendo en cuenta el tiempo disponible para el conjunto del plan de estudios debe darse la prioridad a los conocimientos y las aptitudes teóricas en la medida en que son fundamentales y que no pueden ser enseñadas sino en un ambiente académico. Las materias de carácter predominantemente práctico pueden aprenderse mediante la experiencia práctica o el estudio personal de revistas y manuales cuando surja la necesidad. Es probable que estos aspectos prácticos cambien de un año a otro (por ejemplo, debido a modificaciones menores de leyes o reglamentos) y deben pasar a un segundo plano durante la formación universitaria intensiva y costosa.
2. Ahorrar tiempo no siempre significa eliminar simplemente una u otra materia. Lo que debe subrayarse es la economía. Esto puede conseguirse aumentando la velocidad de aprendizaje mediante la motivación y una enseñanza eficaz, así como mediante la utilización múltiple del tiempo, es decir, aprendiendo dos o más materias simultáneamente.
3. Cada materia debe estudiarse con una profundidad proporcional a su importancia profesional, teniendo en cuenta la especialidad de la

ingeniería estudiada por el alumno. A veces se utilizan las siguientes categorías.

*Nivel elemental.* Idea general de un sector del conocimiento y de su importancia, e identificación de los especialistas cuya ayuda profesional puede ser necesaria.

*Nivel profesional.* Adquisición de una competencia que permita al graduado aplicar directamente los conocimientos y las técnicas al desempeñar su cometido profesional normal.

*Nivel de investigación.* Un alto grado de competencia que permita enriquecer el conocimiento y desarrollar la técnica.

Sólo los dos primeros de niveles corresponden al primer ciclo de la formación de ingenieros.

4. No debe enseñarse nada que no sea aplicado ulteriormente por los alumnos, preferiblemente en el análisis y la resolución de problemas pertinentes dentro del plan de estudios total.

#### ELEMENTOS DEL PLAN DE ESTUDIOS

El primer año la enseñanza de las ciencias del trabajo puede incluir clases magistrales, trabajos de laboratorio y visitas de estudio, con particular insistencia en los fundamentos.

En el segundo año pueden integrarse en los cursos varias aplicaciones, por ejemplo, criterios para hacer comparaciones entre las necesidades de eficacia técnica, las consideraciones económicas y los factores humanos. En el cuarto año se ofrecen a los estudiantes muchas oportunidades de integrar lo que han aprendido sobre teoría económica y organizativa, psicología industrial y supervisión del trabajo, con insistencia en las aplicaciones. Estas aplicaciones tendrán como base la forma en que actúan los individuos y los grupos en los contextos industriales.

A continuación se dan algunos ejemplos y sugerencias, que se resumen también en el cuadro 1:

*Ergonomía* (véase fig. 2). En sus aplicaciones prácticas se refiere a dos sectores principales: *a)* el ajuste del hombre al trabajo y al ambiente de trabajo con ayuda de la orientación, la educación y la formación profesionales, la colocación en una tarea adecuada, la vigilancia del ajuste profesional y diferentes medidas de habilitación y rehabilitación; *b)* el ajuste técnico y organizativo del trabajo y del ambiente de trabajo a las necesidades, las capacidades y las limitaciones humanas.

*Mecánica y técnicas de producción.* Los ingenieros mecánicos necesitan una formación básica (que puede perfectamente impartirse en común con otros planes de estudios) en biología, fisiología y psicología del trabajo durante el primero y el segundo año. En cambio, la ergonomía industrial debe tratarse en el cuarto año, cuando los estudiantes tengan una mejor preparación. La psicología industrial aplicada y la supervisión

CUADRO 1. Ejemplos de aplicaciones prácticas.

Rama de la ingeniería	Aplicaciones
<i>Mecánica y producción</i>	
Diseño de procesos de producción	Teoría de sistemas de las ciencias del trabajo
Diseño de máquinas	Diseño relacionado con la postura corporal, el esfuerzo muscular y los movimientos corporales
Materiales y maquinaria	Criterios de ventilación, regulación térmica
<i>Electricidad de bajo voltaje</i>	
Diseño de sistemas y equipos eléctricos	Empleo de criterios ergonómicos
Mediciones eléctricas	Medición de factores físicos y ambientales
Ingeniería eléctrica	Peligros de las radiaciones, electroacústica, sistemas de control
<i>Electricidad de alto voltaje</i>	
Ingeniería de los altos voltajes	Seguridad en las instalaciones de alto voltaje
Sistemas de abastecimiento de energía industrial	Diseño y protección de los sistemas de abastecimiento de energía industrial
Ingeniería de control	Interacción de los factores humanos y técnicos
<i>Química</i>	
Química inorgánica y orgánica	Toxicidad, peligros y control de las sustancias químicas
Química analítica	Concentraciones admisibles y medición de sustancias peligrosas
Ingeniería química	Límites admisibles para el ambiente de trabajo y el medio exterior Medidas de control, diseño y selección del equipo de tratamiento.

del trabajo, así como la higiene del trabajo y del ambiente, también pueden tratarse en el cuarto año. Conviene examinar la rehabilitación de los deficientes físicos y los problemas de los trabajadores jóvenes y de mayor edad.

La sección de higiene del trabajo y del ambiente del cuarto año debe tratar de los principios generales aplicables para conseguir y mantener condiciones de trabajo y de ambiente óptimas para el individuo,

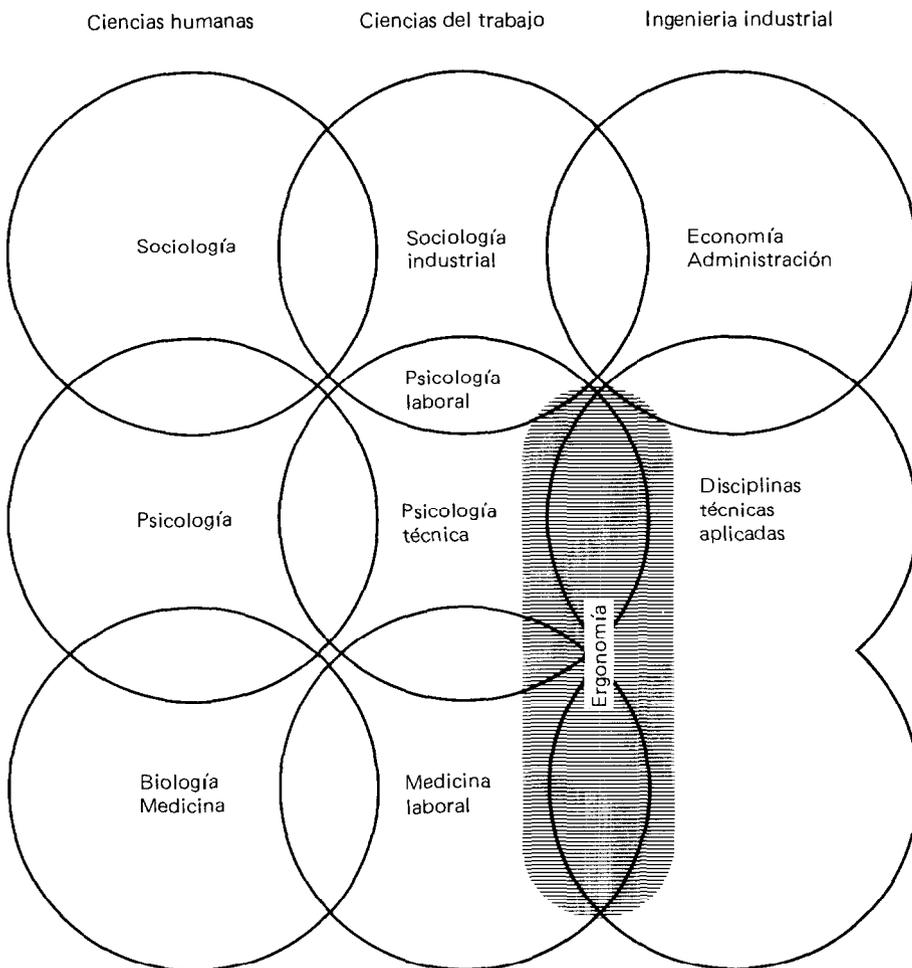


Fig. 2. La ergonomía se ocupa de las aplicaciones técnicas.

teniendo en cuenta sus diversas limitaciones. Deben incluirse aquí análisis comparados de riesgos y una evaluación crítica de los valores considerados umbrales límites. El diagnóstico de la exposición en higiene del trabajo debe comprender el análisis y la evaluación de los riesgos que presentan para el ambiente los agentes químicos y físicos, así como las radiaciones ionizantes y no ionizantes. Otras secciones tratarán de las medidas de prevención y protección, la ventilación industrial, la recogida de polvo y la depuración de gases, el tratamiento y almacenamiento de desechos, el empleo de equipo individual de protección, etc. Se hará especial hincapié en el control de emisiones e inmisiones.

*Electrónica e ingeniería eléctrica.* La formación de ingenieros electricistas debe incluir secciones referentes a la seguridad en el diseño de sistemas y de equipo eléctricos. Deben examinarse los aspectos psicológicos de la automatización y la mecanización, por ejemplo. Entre las aplicaciones de particular importancia para los ingenieros electricistas figuran las exigencias de alumbrado e iluminación, la acústica (particularmente el ruido), la seguridad eléctrica, la transferencia y el tratamiento de la información, así como las aplicaciones particulares de la tecnología médica. La labor del ingeniero electricista comprende la concepción de equipos y sistemas. Las secciones de medicina del trabajo o de las materias aplicadas conexas deben ser explicadas primordialmente por el instructor ordinario pero, cuando sea necesario, podrán organizarse conferencias especializadas para tratar cuestiones que se desee profundizar.

*Medición eléctrica.* Comprende la medición de los factores físicos y ambientales, la conexión a tierra, el blindaje de los sistemas de medición, las normas de seguridad, etc. La electrotecnia debe abarcar los efectos de la radiación electromagnética en los seres humanos, la planificación de sistemas eléctricos, los reglamentos de seguridad, los problemas del ambiente de trabajo en la producción de energía, la protección contra las radiaciones, la electroacústica, las alteraciones de la audición, etc. Las técnicas de alta tensión deben estudiar las exigencias de seguridad en las instalaciones de alta tensión, la concepción y la protección de los sistemas de abastecimiento de energía industrial, etc. Las técnicas de instrumentación deberían incluir la medición de los factores que determinan el ambiente de trabajo, etc. En lo que respecta a las técnicas de control se hará hincapié en el sistema formado por los factores técnicos y humanos y sus interacciones.

*Ingeniería química.* La enseñanza de la química inorgánica debe incluir los reglamentos para laboratorios químicos, la toxicidad y los peligros de las sustancias químicas inorgánicas, las concentraciones límite, el manejo, el etiquetado y el almacenamiento de sustancias químicas inorgánicas, las medidas que deben tomarse en caso de accidente, etc. La química analítica puede incluir el estudio de los métodos de medición de las concentraciones de sustancias peligrosas en el ambiente de trabajo y en el medio exterior, haciendo especial hincapié en los métodos instrumentales. Los métodos de muestreo pueden ilustrarse mediante sesiones prácticas de laboratorio. La química orgánica incluirá las reglas de seguridad aplicables al trabajo con sustancias químicas orgánicas, las concentraciones límites, los efectos patológicos de las sustancias químicas orgánicas, los efectos sobre el medio ambiente que plantean las sustancias químicas orgánicas, tales como los hidrocarburos clorados, los métodos para descubrir la presencia de sustancias químicas orgánicas en los

ambientes laboral y biológico, la ecología y la tecnología de control de la contaminación.

*Ingeniería química aplicada* incluirá las medidas de control destinadas a eliminar la contaminación del aire por gases y partículas, así como la concepción de equipo destinado a prevenir la evacuación de sustancias nocivas. Se enseñará y estimulará a los alumnos a aplicar criterios de las ciencias del trabajo en la concepción y la selección de material de tratamiento con objeto de reducir o eliminar los riesgos para la salud. Las técnicas del tratamiento químico deberían incluir la selección de los procedimientos, el estudio de soluciones alternativas, el análisis de costos y beneficios, etc. desde el punto de vista de las ciencias del trabajo. En materia de tecnología química, las secciones consagradas a la concepción deben integrar especialmente las secciones relativas a las cuestiones de mano de obra y de ecología. En lo que se refiere a la química de revestimientos de superficies se examinarán los problemas de higiene del trabajo y del ambiente que plantea el manejo de pinturas y barnices. En cuanto a la tecnología de los polímeros se considerará la producción y el manejo de los monómeros y polímeros en el procesamiento de materias plásticas y caucho desde el punto de vista de la medicina y de la higiene del trabajo.

*Construcción (arquitectura, ingeniería civil y edificación)*. El primer año debe incluir el estudio somero de algunos problemas del ambiente de trabajo en conexión con la psicología de la percepción y en relación con los métodos de diseño y planificación.

El segundo año puede incluir un tratamiento detallado de los problemas del ambiente de trabajo, particularmente en conexión con los proyectos de diseño, por ejemplo, de pequeñas instalaciones industriales. Varias aplicaciones ambientales en las que intervienen problemas de ergonomía, medicina y organización pueden integrarse con las materias técnicas y de diseño.

En el tercer año pueden integrarse varios problemas de medio ambiente con el análisis funcional de edificios. Pueden exponerse los problemas del ambiente de trabajo en tipos especiales de edificios, tales como las estaciones de servicio de automóviles, los talleres de impresión de periódicos, los talleres de carpintería, los hospitales, etc.

En el cuarto año se hará hincapié en los proyectos de concepción relativos a la planificación de instalaciones complejas o en gran escala. En este caso, las secciones relativas al ambiente de trabajo se coordinan e integran en el contexto de los métodos de concepción urbanística, el estudio de formas, el equipo mecánico, la construcción de edificios, etc. A ese efecto pueden utilizarse simultáneamente varios métodos pedagógicos, tales como clases magistrales, seminarios, visitas de estudio, dibujo

y análisis crítico. Además de la planificación de edificios, servicios y espacios deben examinarse las maneras de tomar en consideración los intereses y los deseos de los empleados en conexión con el planeamiento de instalaciones industriales.

#### PROFUNDIDAD DE LOS ESTUDIOS

Ya se ha señalado que los diversos elementos del plan de estudios señalados en este artículo requieren una profundidad de investigación que varía de una especialidad de la ingeniería a otra. En ciertos contextos, el alumno sólo necesita una apreciación general de los factores que pueden intervenir y de los conocimientos suplementarios a los que puede recurrir si es necesario. En otros contextos, el alumno necesita más detalles, pues tiene que ser capaz de aplicar directamente las técnicas como parte de su función profesional.

En el cuadro 2 se ha aplicado esta distinción utilizando las expresiones de "nivel elemental" y "nivel profesional". Las horas de estudio sólo se sugieren como un orden de magnitud. Se reconoce que las condiciones locales (tipos de industrias, salud y seguridad, reglamentos y prácticas tradicionales de trabajo) pueden exigir que se preste más o menos atención en cada caso.

#### **Ejemplo de estudio de caso**

Parece conveniente terminar este trabajo con un ejemplo de cómo puede utilizarse un estudio de caso en la educación relativa al ambiente de trabajo. El ejemplo elegido no es más que uno de los numerosos casos que ya se han utilizado con más o menos éxito en una gran diversidad de cursos sobre el ambiente de trabajo. No se pretende que este estudio sea perfecto ni que la forma en que se utiliza no sea susceptible de mejora. La razón de utilizar un ejemplo sencillo tomado de uno sólo de los muchos temas existentes en este campo es que únicamente examinando en profundidad el procedimiento que puede seguirse y el aprendizaje que pueden adquirir los alumnos podrá apreciar el lector la contribución especial que pueden aportar los estudios de casos. El lector también puede ser estimulado a reconsiderar las formas en que utiliza ya los estudios de casos de un tipo u otro y a escribir por sí mismo estos estudios. Puede obtenerse una orientación detallada sobre el particular, así como información reciente sobre estudios de casos de ingeniería (muchos de los cuales entrañan ciertos aspectos del ambiente de trabajo) consultando a la Engineering Case Library de la American Society for Engineering Education. En la misma fuente pueden obtenerse las comunicaciones de Kardos, Smith y otros (Kardos and Smith, 1979).

CUADRO 2. Esquema de un plan de estudios a incluir en los programas de ingeniería (primer ciclo)<sup>a</sup>

Materias	Mecánica y técnicas de producción		Electricidad de baja tensión y electrónica		Alta tensión		Ingeniería química		Ingeniería civil y edificación	
	NE <sup>b</sup>	NP <sup>b</sup>	NE	NP	NE	NP	NE	NP	NE	NP
Accidentes y seguridad	5-10	5-10	5-10	5-10	5-10	10-15	5-10	10-20	5-10	10-20
Medicina e higiene industriales	5-10	10-15	5-10	5-10	5-10	10-15	5-10	10-20	5-10	10-20
Fisiología del trabajo	5-10	10-15	5-10	5-10	5-10	10-20	5-10	10-15	5-10	5-10
Psicología técnica	5-10	5-10	5-10	10-20	5-10	10-15	10-15	5-10	5-10	5-10
Psicología del lugar de trabajo	5-10	10-15	5-10	10-15	10-15	5-10	5-10	10-15	10-15	10-15
Sociología industrial	5-10	5-10	5-10	5-10	10-15	5-10	10-15	5-10	10-15	10-15

a. Las cifras indican las horas mínimas-máximas de estudio que deben dedicar los alumnos a cada materia y a cada tipo de programa y comprenden tanto las horas de trabajo con los profesores como el tiempo dedicado a prácticas de laboratorio, visitas, trabajo en la biblioteca y confección de proyectos.

b. NE = Nivel elemental; NP = Nivel profesional.

¿Por qué deben utilizarse estudios de casos y cuáles son sus ventajas?

1. Estos estudios suscitan y reavivan la motivación ayudando a los alumnos a ver el significado y el propósito de estudios que en otro caso pueden parecer principalmente teóricos.
2. Ayudan a integrar y asimilar la información antes de que se olvide su utilización en el mundo real.
3. Contribuyen a promover las dotes de investigación y el desarrollo del discernimiento, cosas ambas que sólo podrían adquirirse en caso contrario en los tipos de situaciones que describen los estudios de casos.
4. Colocando a los alumnos en la posición de las personas enfrentadas con problemas reales, con la incertidumbre y, a veces, con el peligro, muestran cómo es posible aprender de una situación más de lo que puede aprenderse de un curso magistral.

Este último punto plantea una nueva pregunta. ¿Por qué no recurrir a la propia experiencia directa? Para contestarla tenemos que darnos cuenta del principio general de que toda la educación gira en torno a la economía. La educación economiza tiempo acelerando el aprendizaje; economiza recursos concentrando los esfuerzos de los que están calificados para enseñar y economiza las consecuencias de la ignorancia y del sistema de tentativa y error. Por ejemplo, en nuestra esfera de estudios, el objetivo es ahorrar a las personas las lesiones, las enfermedades y la alienación en la industria. No podemos esperar a aprender por azar ni podemos permitirnoslo en modo alguno.

La segunda razón para no recurrir a la llamada “experiencia práctica” reside en el estado de los conocimientos. Para beneficiarse de la experiencia, el alumno tiene con frecuencia que recurrir al discernimiento y a la interpretación de alguien que sepa más que él. El ambiente de trabajo es un sector relativamente nuevo, aunque se base en materias académicas establecidas, y solamente donde se hayan reunido personas que posean los conocimientos y las técnicas más recientes para la enseñanza y la investigación, puede esperar adquirir el alumno la capacidad de interpretación de la que depende en gran medida el aprendizaje mediante la experiencia. Un estudio de caso no es simplemente un episodio de microhistoria que se transfiere desde la memoria del autor hasta el cuaderno de notas del alumno. Se oye con demasiada frecuencia que se remite a los alumnos a “leer” un estudio de caso o, lo que es peor todavía, que un profesor “expone” un estudio de caso como una conferencia. Los estudios de casos no son para leerlos, exponerlos ni siquiera simplemente discutirlos. Los estudios de casos deben experimentarse como rompecabezas, discusiones violentas, búsquedas frenéticas, largos silencios, torpes sugerencias provisionales y tal vez como una exclamación de sorpresa. Su éxito es proporcional al silencio del profesor después de haber planteado el problema.

De aquí se deduce que la utilidad de los estudios de casos depende más de la habilidad del profesor para idear y presentar el caso que de la elección del tema. En el ejemplo que sigue se intenta demostrar cómo puede presentarse un caso, cómo puede utilizarse para revelar a los alumnos los embrollos y lo inesperado de las situaciones con las que se enfrentan los encargados de mejorar el ambiente de trabajo y cómo un simple episodio puede engendrar una valiosa experiencia educativa.

#### EL CASO DEL APOYABRAZOS

Este caso ha sido ideado y escrito, y es regularmente utilizado, por el Dr. Dennis Else, profesor principal en el Departamento de Seguridad e Higiene de la Universidad de Aston, Birmingham (Reino Unido). El jefe del departamento es el profesor Richard Booth.

Se utiliza en un curso universitario de seis meses para la concesión de un diploma destinado a inspectores gubernamentales y asesores sobre higiene y seguridad industriales; en el programa universitario sobre seguridad e higiene y en el curso de estudios complementarios seguido por estudiantes de ingeniería. Aunque las diferencias de nivel y de experiencia previa entre estos grupos de estudiantes pueden reflejarse en la presentación del caso y en el grado de penetración que logran los estudiantes, la estructura y el enfoque fundamentales tienen una validez general.

El caso suele ocupar unas cuatro horas y se presenta en el curso para la obtención del diploma hacia el final de un módulo sobre control ambiental, que comprende el control de ruido, el control de los contaminantes transportados por el aire, la iluminación y el ambiente térmico. En el apéndice que figura más adelante se describen los objetivos y el contenido de la parte del módulo dedicada a los contaminantes transportados por el aire.

Aunque el caso parece plantear inicialmente un problema relativo a la concepción de un sistema de ventilación por aspiración, en realidad tiene mayores consecuencias y pone a prueba la imaginación y la creatividad de los alumnos de una manera que éstos no esperan en general. Más adelante insistiremos en esta característica.

Es importante saber que tanto los alumnos del curso universitario como del curso de diploma tienen previa instrucción y práctica en las técnicas de discusión en pequeños grupos y en la presentación oral de ideas y conclusiones a grandes grupos (como parte de esta formación se hacen y comentan registros video). No es, por supuesto necesario justificar esta inversión de tiempo y de esfuerzo que se refleja en el rendimiento de los estudiantes en el estudio del caso e indudablemente en su carrera ulterior.

### *Planteamiento del problema*

La empresa trabaja para la industria automovilística. En particular, fabrica gran variedad de elementos de vinilo rellenos de poliuretano para el interior de los automóviles. El problema particular con el que se enfrenta el investigador consiste en la fabricación de apoyabrazos rellenos de poliuretano para un automóvil de lujo (es decir, el soporte almohadillado que llevan las puertas del conductor y del pasajero). La mejor manera de exponer el proceso es referirse al plano del lugar de trabajo representado en la figura 3.

A lo largo de la mesa situada junto a la cinta transportadora trabajan seis personas. Otra persona maneja la máquina inyectora de espuma de poliuretano situada al final de la mesa. El problema de higiene afecta únicamente a las operarias que trabajan en la mesa situada junto a la

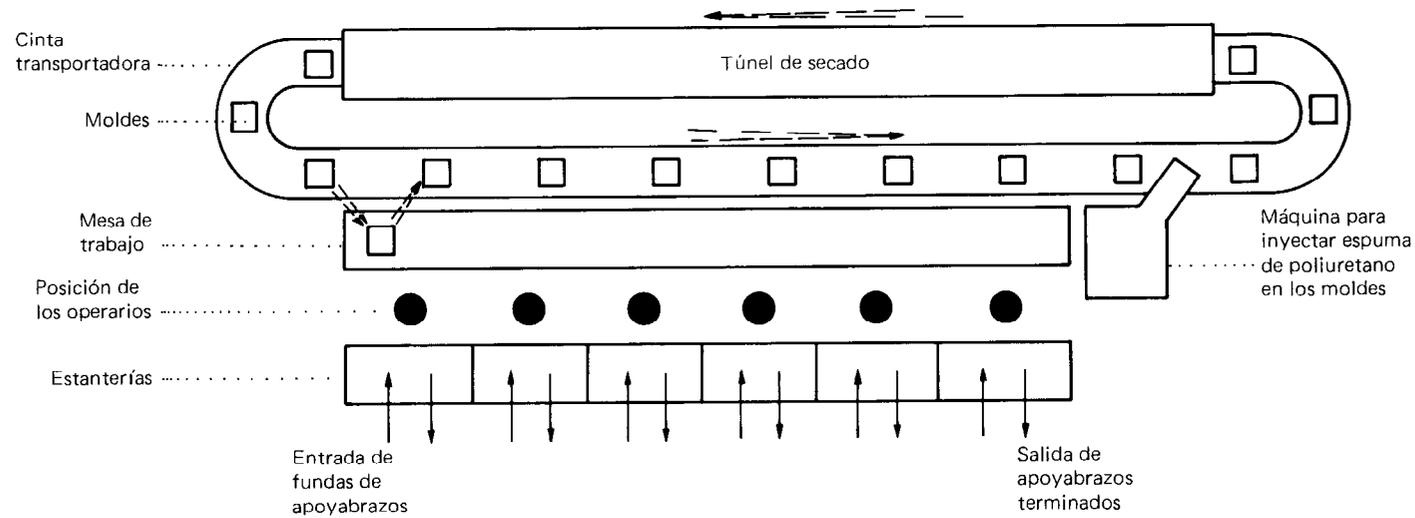


FIG. 3. Plano de la instalación de producción de apoyabrazos.

cinta y, por lo tanto, no se describen las tareas de otras personas que se encuentran en el lugar de trabajo.

Las operarias se dedican a extraer los apoyabrazos terminados de los bloques de moldeo y a sustituirlos por las fundas de apoyabrazos listas para llenarlas de espuma de poliuretano. Por consiguiente, tienen que tomar un molde de la cinta transportadora, ponerlo sobre la mesa de trabajo situada delante de ellas, soltar los cierres del bloque de moldeo y extraer un apoyabrazos terminado. Después tienen que pulverizar el bloque de moldeo con un anti-adhesivo y hacer lo mismo con una funda de apoyabrazos antes de colocarla en el bloque de moldeo, que se cierra luego y se coloca de nuevo en la cinta transportadora. El molde es transportado luego por la cinta hasta el lugar en que la operaria encargada de inyectar la espuma de poliuretano lo llena con ésta. El molde atraviesa a continuación el túnel de secado, que es simplemente una capota calentada y ventilada situada sobre la cinta transportadora.

Los apoyabrazos rellenos se colocan en estanterías situadas detrás de los operarias para ser ulteriormente retirados por otros empleados. Las mismas estanterías contienen la reserva de fundas listas para su pulverización al colocarlas en los moldes.

Durante varios meses, antes de entrar en contacto con el investigador, se observó que las operarias que trabajaban junto a la mesa estaban bastante soñolientas al terminar su turno de trabajo. Se supuso que esa somnolencia era debida probablemente a los efectos de las sustancias contenidas en las latas de aerosoles que se utilizaban para pulverizar el anti-adhesivo sobre las fundas y en el interior de los moldes, antes de introducir aquéllas dentro de éstos.

### *Organización*

Las sesiones de información previa y de comunicación de resultados tienen lugar en una sala de conferencias y los estudiantes disponen de pequeñas salas en las que pueden trabajar en grupos de cuatro a seis personas. El estudio de caso consta de las siguientes fases:

1. El primeros quince minutos transcurren en la sala de conferencias y se dedican a exponer el problema tal como se ha descrito anteriormente utilizando numerosas diapositivas obtenidas en la fábrica. Los alumnos pueden examinar las fundas de apoyabrazos, los apoyabrazos rellenos de espuma de poliuretano y las latas del aerosol anti-adhesivo.
2. Los estudiantes se reúnen luego en sus respectivos grupos para poner a prueba su imaginación, utilizando los conocimientos recibidos en las primeras partes del curso, a fin de proponer técnicas que permitan evaluar los riesgos que comporta la exposición a los aerosoles. Disponen de 15 minutos para esta parte del estudio de caso.

3. Toda la clase se reúne de nuevo en la sala de conferencias y se pide a uno de los grupos, elegido al azar, que presente sus sugerencias iniciales. Se pregunta a los otros grupos si pueden aportar alguna información adicional. Esta sesión, que dura otros 15 minutos, termina con una exposición por el presentador del estudio de caso de las técnicas realmente empleadas por el investigador en su evaluación del problema.
4. Como las mediciones indicaron que existía probablemente un problema, se pide luego a los estudiantes que trabajen de nuevo en sus grupos respectivos para abordar el problema de reducir la exposición a los contaminantes. En cualquier momento del estudio monográfico, los estudiantes pueden pedir al profesor información adicional u otras reuniones en la sala de conferencias para ver de nuevo las diapositivas sobre la fábrica y su ambiente de trabajo. Cada grupo recibe un bloc de hojas de papel en el que resumir sus conclusiones.
5. Todos los grupos se reúnen otra vez para comunicar sus resultados. Se pide a dos de los grupos que presenten sus conclusiones (con ayuda de sus resúmenes). Los demás grupos presentan luego sus resúmenes y, si es necesario, critican los resultados de los dos primeros grupos. El presentador del estudio monográfico señala por último las insuficiencias o restricciones prácticas que no hayan sido adecuadamente tratadas por los grupos en la comunicación de sus conclusiones. Esta sesión suele durar unos 30 minutos. Puede suceder que un grupo proponga una solución que merezca una larga discusión, en cuyo caso hará falta más tiempo.
6. El presentador describe luego un proyecto de sistema de ventilación preparado por una firma exterior. Este proyecto propone esencialmente un conducto situado debajo de la superficie de la mesa y provisto de una rejilla en cada puesto de trabajo, encima de la cual se mantendrá el molde o la funda del apoyabrazos durante la pulverización del agente anti-adhesivo. En el extremo de la mesa, el conducto sube verticalmente hasta la caja de un ventilador con salida por el techo. (El defecto fundamental de este proyecto es que la velocidad del aire al pasar por la rejilla de cada puesto de trabajo sería insuficiente para aspirar el exceso de pulverización y no se podría hacer que fuere suficiente sin causar molestias a las operarias y crear otros problemas. Otro defecto es que algunas de las operarias se aproximan a su compañera a fin de poder hablar con ella. Los estudiantes observadores ya lo habrán visto en las diapositivas).  
Como es lógico, estos defectos no se mencionan. Se reparten copias del proyecto a los distintos grupos y se les pide que presenten su evaluación del sistema propuesto. Disponen de 20 minutos para ello.
7. Durante la siguiente sesión, uno de los grupos presenta sus argumen-

tos seguido de comentarios de los demás grupos. El profesor examina con detalle las insuficiencias del proyecto de la firma exterior basándose en los cálculos realizados y en los resultados de un experimento en el que se instaló temporalmente con fines de demostración una maqueta de dicho proyecto.

8. Por último, el profesor describe la solución adoptada en la práctica y la relaciona con las diversas sugerencias formuladas por los grupos y con los principios generales del control de contaminantes del aire expuestos en conferencias anteriores.

### *Resultados*

Durante las etapas finales del estudio de caso, el profesor podrá mostrar que la solución del problema ilustra un método previamente examinado para reducir los contaminantes del aire, es decir, la jerarquización del control:

1. Sustitución: *a)* del material; *b)* del procedimiento.
2. Separación.
3. Ventilación: *a)* sistemas receptores; *b)* sistemas captadores; *c)* sistemas de poco volumen y gran velocidad; *d)* sistemas de ventilación por dilución.
4. Equipo de protección individual.

Este modelo se ha examinado anteriormente en el curso y uno de los efectos del estudio de caso es demostrar a los alumnos su gran utilidad. La estrategia de enseñanza requiere que no se recuerde esto a los alumnos al comienzo del estudio. Los alumnos sienten la tentación de coger al vuelo la idea de que el problema consiste simplemente en concebir un sistema de ventilación captador o receptor y, sin embargo, como lo demuestra la solución real, tanto la sustitución como la separación tienen que desempeñar un papel.

Es interesante señalar que la idea que condujo a la solución final procedió de una delegada sindical que tenía un conocimiento personal del proceso y de los servicios disponibles en la instalación. Esto plantea a su vez el problema de la experiencia directa en oposición al conocimiento teórico.

La empresa había ensayado varios métodos para resolver el problema. Por otra parte, no estaba en condiciones de hacer una gran inversión en automatización. Se había intentado aplicar el agente anti-adhesivo en forma de pintura y no como aerosol. Se habían ensayado diferentes tipos de agentes anti-adhesivos, pero todos los ensayos habían fracasado por la dificultad de conseguir un recubrimiento adecuado con el agente anti-adhesivo en dos ángulos profundos de la funda del apoyabrazos (no se podía utilizar un sistema de inmersión porque la espuma de poliuretano se separaba de la funda del apoyabrazos).

La delegada sindical fue la que se dio cuenta de que no era necesario pulverizar el apoyabrazos al lado de la cinta transportadora. También se acordó de que la empresa tenía una cabina de pulverización que no se utilizaba en otra parte de la fábrica. En consecuencia, se pudo modificar como sigue la organización del trabajo:

1. Las fundas de apoyabrazos se pulverizaban con el agente anti-adhesivo en una cabina de pulverización durante una operación separada. Esto permitía aplicar el agente con una pistola de pulverizar lo que además permitía un ahorro en comparación con el empleo de botes de aerosol. A su vez, cada operaria llevaba un lote de sus fundas de apoyabrazos a la cabina para pulverizarlas (separación).
2. El recubrimiento del propio bloque de moldeo con el agente anti-adhesivo se hacía con una brocha de pintar (sustitución del procedimiento).
3. El agente anti-adhesivo aplicado al bloque de moldeo no tenía que ser muy fuerte y, por lo tanto, el aerosol de hidrocarburos clorados se sustituyó por un agente anti-adhesivo jabonoso, a base de agua, menos nocivo (sustitución del material).

#### APRENDIZAJE COLATERAL

Como ya se ha indicado, un estudio de caso estimula al alumno a utilizar conocimientos adquiridos en clases y cursos precedentes, así como en una experiencia previa. Sin embargo, el conocimiento puede progresar también en el otro sentido: desde lo particular a lo general. De un estudio puntual pueden surgir conclusiones, consecuencias y repercusiones que aumenten la comprensión y la sensibilidad de los estudiantes junto con su habilidad para enfocar situaciones de muchos tipos. Algunos ejemplos, tomados del caso del apoyabrazos, contribuirán a ilustrar este punto.

Los fabricantes de piezas para automóviles, al menos en el Reino Unido, son con frecuencia pequeñas empresas. Estas empresas actúan en un mercado competitivo y los cambios en la concepción de los automóviles o incluso en el modelo pueden dejarles sin trabajo casi de la noche a la mañana. En realidad la cadena de producción que fue objeto del estudio de caso se cerró poco después del episodio relatado.

Hay varias razones que explican por qué esas compañías vacilan en hacer inversiones de capital en medidas de higiene y seguridad o en otros aspectos. En estas condiciones de mercado se preferirá siempre una solución barata, y toda solución que pueda ensayarse con pocos gastos, antes de invertir una gran suma, será siempre atractiva desde el punto de vista del sentido común. Independientemente de su mérito final, la pequeña reorganización y sustitución adoptada era preferible desde el punto de vista pragmático a la construcción de un sistema de extracción

que podría no funcionar. Digamos incidentalmente que esta prudencia financiera no fue un motivo de conflicto entre los trabajadores y los empresarios. El sindicato no deseaba que sus miembros se quedasen en paro debido a que su compañía se recargara con gastos de capital adicionales. Conviene recordar que la solución se debió a la sugerencia de una delegada sindical.

Por lo tanto, hay que decir algo aquí sobre la satisfacción. El sindicato desea satisfacer a sus miembros y el empleador desea satisfacer al sindicato. Hay una etapa en el estudio de caso en la que los alumnos podrían reconocer que el sistema de extracción propuesto no serviría y ser, sin embargo, incapaces de idear un sistema que sirviera. Podrían ponerse en la situación de los empleadores (y tal vez de los delegados sindicales) y decir: "Está bien. Este problema no tiene solución objetiva. Hay que elegir entre la somnolencia debida a una intoxicación desconocida y tal vez poco importante y el desempleo. Si se instala el conducto y hace mucho ruido al aspirar, los trabajadores se quedarán mucho más satisfechos. Verán que tanto los empleadores como el sindicato han hecho algo." Este tipo de argumento, devuelto por el profesor a los alumnos tan pronto como aparezca, puede conducir a una animada discusión de enorme utilidad. Si es necesario, puede hacerse referencia al llamado efecto Hawthorne.

Como ilustración final del aprendizaje colateral cabe señalar el modelo jerárquico. Los alumnos suponen a menudo (por varias razones) que el problema consiste en concebir un sistema de extracción, pero no es así. Sólo aplicando una perspectiva más amplia y un enfoque más general del problema esencial puede el asesor sobre higiene y seguridad encontrar la solución verdaderamente creativa. Un profesor hábil nunca dirá esto él mismo en ningún momento, salvo tal vez cuando el estudio del caso esté terminado. Si esto sale de los alumnos, como un descubrimiento de ellos mismos, quedará plenamente asimilado.

## APÉNDICE AL ESTUDIO DE CASO

*Universidad de Aston en Birmingham,  
Departamento de seguridad e higiene*

*Objetivos del punto “control de los contaminantes atmosféricos”  
correspondiente al módulo “regulación del medio ambiente”.*

A la terminación del curso, el alumno deberá ser capaz de:

1. En el caso de un proceso que hasta ese momento no ha sido objeto de ninguna medida de protección: *a)* elegir un sistema de ventilación apropiado; *b)* enunciar los factores esenciales que deben incorporarse al proyecto del sistema; *c)* asesorar sobre la puesta en servicio, la conservación, la capacitación y el mantenimiento de registros; *d)* asesorar sobre los requisitos de las pruebas iniciales de eficacia y los controles regulares de ventilación.
2. En el caso de un sistema de ventilación existente: *a)* decidir si el sistema de ventilación es adecuado para el control de un riesgo particular y si funciona correctamente; *b)* proponer mejoras del sistema de ventilación u otra solución si el sistema es inapropiado; *c)* decidir si los controles regulares de ventilación y el mantenimiento son adecuados y si la organización relacionada con la utilización del sistema es satisfactoria; *d)* proponer mejoras en la organización, el mantenimiento, el control de rutina y la capacitación.

### *Temas*

*Control de los contaminantes contenidos en el aire.* Jerarquía de las técnicas de control. Sustitución, separación, aislamiento total y aislamiento parcial.

*Receptores, captadores y sistemas de pequeño volumen y gran velocidad.* Teoría de los sumideros puntiformes, contraste entre insuflación y extracción, velocidad de captura y factores que rigen la velocidad de captura de diferentes sustancias y en diferentes situaciones de extracción, ventajas y desventajas de las campanas receptoras, campanas captadoras y sistemas de pequeño volumen y gran velocidad.

*Ventilación por dilución.* Principios de concepción, factor de dilución, ventajas y desventajas.

*Concepción de sistemas.* Pérdidas y transformaciones de energía en los sistemas de ventilación, presión estática, presión dinámica, presión total, pérdidas en la entrada de la campana, principales factores que rigen la resistencia en los sistemas de conductos de ventilación, resistencia del sistema, elección de la velocidad de circulación, elección del método de filtrado, elección del tipo, la dimensión y la velocidad del ventilador en función de las características y la resistencia del sistema, consecuencias de la selección incorrecta del ventilador, diseño de sistemas ramificados equilibrados, consecuencias de la instalación de sistemas incorrectamente concebidos o de los fallos en los sistemas correctamente concebidos.

*Instrumentos de control de la ventilación.* Métodos cualitativos y cuantitativos,

velocímetros de álabe oscilante, anemómetro de termistor, tubo de Pitot, manómetro inclinado, tubos de humo y lámpara de polvo.

*Requisitos legales de la ventilación.* Comparación de los requisitos expresados en términos técnicos específicos y los requisitos basados en los objetivos, evolución histórica de los requisitos jurídicos, registro de datos, mantenimiento y capacitación.

*Prácticas de ventilación.* Enseñanza práctica del uso de instrumentos. Evaluación de la utilidad de la campana aspiradora de emanaciones, de la unidad portátil de control de los gases de soldadura y del sistema de ventilación por dilución.

*Puesta en servicio, ajuste y prueba de los sistemas de ventilación por extracción.* Función del muestreo ambiental, aplicación de los códigos de práctica y otras normas, presión estática de campana, información necesaria para la puesta en servicio, frecuencia de los controles visuales y los controles de eficacia, cambios en el proceso y en el medio ambiente.

## Referencias

KARDOS, G.; SMITH, C. O. 1979. On writing engineering cases. *Proceedings of Engineering Case Studies Conference*. Washington D.C., American Society for Engineering Education.

# La tecnología apropiada en la enseñanza de la ingeniería

Informe basado en un seminario convocado  
por el Intermediate Technology Development  
Group de Londres

David Brancher

## Introducción

Esta sección, dedicada a la enseñanza y al aprendizaje de la tecnología apropiada (TA), podría habersele encargado a un solo autor o tal vez a un par de autores. Sin embargo, esto se consideró inapropiado al menos por dos razones. El debate sobre la TA se ha extendido ahora a todo el mundo, en él participan tanto los países desarrollados como los países en desarrollo y su problemática afecta la enseñanza de la ingeniería en muchas especialidades y a varios niveles. Sus patrocinadores serían los primeros en decir que no hay “expertos” que dominen todos los aspectos educativos de la TA. Su alcance es demasiado amplio y sus consecuencias demasiado profundas.

La segunda razón para preferir un enfoque cooperativo es que la TA constituye esencialmente un cambio de actitudes y un nuevo examen de valores en la ingeniería y en la enseñanza de la ingeniería. Cuando ese cambio tenga pleno efecto tomará la forma de un nuevo consenso. Lo importante en esta etapa no es la enumeración de principios científicos o paracientíficos (si, en realidad, tales existen) sino la forma y la calidad del consenso.

Por esta razón se decidió abordar el tema mediante una serie de debates con la participación de un grupo de profesores de ingeniería y de ingenieros en ejercicio. Por razones de economía se invitó a participantes de un solo país, el Reino Unido. Convocó las reuniones el Intermediate Technology Development Group Ltd., organización sin fines lucrativos fundada en 1965 por un grupo de ingenieros, economistas, científicos y otros profesionales a fin de elaborar métodos prácticos y técnicas de autoasistencia para los países en desarrollo. Por conducto de su filial AT for UK, el ITDG se ocupa ahora también de la investigación de tecnologías apropiadas para países como el Reino Unido.

No se pretende que la experiencia y las ideas aportadas por los participantes sean completas y concluyentes. Sin embargo, cabe señalar que

los miembros del grupo, sumados, han practicado la ingeniería en treinta y siete países y la enseñanza en veinticuatro. Todos esos países, con la excepción de siete, se encuentran en un estado inicial o intermedio de desarrollo. Más abajo figuran los nombres de los participantes. La inclusión de un nombre no significa que la persona esté de acuerdo con todas las afirmaciones contenidas en el informe. La responsabilidad final a ese respecto incumbe al redactor.

Como apéndices al informe se dan breves descripciones de algunos adelantos en los planes de estudios de tecnología apropiada en los cursos y programas universitarios de ingeniería, una bibliografía y una lista de centros y revistas pertinentes.

La tecnología apropiada no es un concepto que pueda abordarse fácilmente de un modo lineal y la variada naturaleza de los debates planteó problemas cuando se redactó por primera vez el informe. Finalmente se decidió que una presentación en forma de preguntas y respuestas sobre algunas de las preocupaciones expresadas frecuentemente por los profesores y los directivos académicos sería lo más razonable y apropiado.

### **Debate: preguntas y respuestas sobre tecnología apropiada**

*¿Qué es la tecnología apropiada? ¿Tiende su definición a distinguirla de la "ingeniería"?*

Debemos aclarar ante todo que no hay tecnologías que puedan considerarse universalmente apropiadas (aunque hay algunas que tal vez sean universalmente inapropiadas). Juzgar si una tecnología es apropiada entraña aplicar ciertos criterios.

Las definiciones de TA pueden ser de dos tipos. El primer tipo trata de ser objetivo y realista. Por ejemplo: "... una tecnología apropiada al contexto de su aplicación; que tiende a respetar su entorno (en el sentido completo o sistémico) y a no cambiarlo salvo en lo específicamente necesario; que se elige sin tener en cuenta el prestigio externo o la posición científica".

El segundo tipo de definición es subjetivo y tendencioso, por lo que resulta difícil de circunscribir debido a que un debate sobre la significación de la tecnología forma parte del concepto. Esta definición considera la TA como un movimiento social, internacional y esencialmente humanitario hacia tecnologías que permitan satisfacer necesidades y aspiraciones fundamentales con bajo costo social y ecológico y en un futuro indefinido. Los siguientes criterios, tomados de Nelson y Yudelson (1976) con algunas adaptaciones, parecen representar el consenso general.

---

Tecnología apropiada	Tecnología inapropiada
----------------------	------------------------

---

*Factores ecológicos*

<p>No desprende contaminantes o sustancias tóxicas en el medio ambiente                  Protege el hábitat natural existente                  Restaura la viabilidad de los ecosistemas                  Recicla los nutrientes orgánicos o crea la capa superior del suelo                  Produce alimentos</p> <p>Conserva los recursos renovables de modo que pueda seguir la renovación                  Conserva los recursos no renovables</p> <p>Promueve la utilización de fuentes de energía renovables                  Promueve el empleo de materias recicladas                  Reduce la dependencia con respecto al transporte</p>	<p>Contamina o intoxica el medio ambiente</p> <p>Destruye el hábitat natural                  Destruye la viabilidad de los ecosistemas                  Desperdicia nutrientes y destruye la capa superior del suelo                  Destruye la producción de alimentos (potencial o actual)                  Utiliza abusivamente los recursos renovables                  Utiliza y derrocha los recursos no renovables                  Utiliza fuentes de energía no renovables</p> <p>No emplea materias recicladas</p> <p>Aumenta la dependencia con respecto al transporte</p>
--	--

*Factores económicos*

<p>Es duradera                  Promueve la producción en pequeña escala, así como la propiedad y el control locales                  Promueve un trabajo significativo</p> <p>Intensiva en mano de obra y calificación</p>	<p>Es efímera                  Promueve la creación de grandes empresas centralizadas</p> <p>Produce un trabajo deshumanizador o empobrecedor o el desempleo                  Intensiva en capital</p>
---	--

*Factores sociales, políticos y culturales*

<p>Promueve la flexibilidad y adaptabilidad sociales                  Promueve la autosuficiencia y la cooperación de la comunidad                  Comprensible y utilizable a nivel de la comunidad                  Crea o mantiene la belleza natural</p>	<p>Reduce la flexibilidad social                  Promueve el control centralizado                  Comprensible únicamente por los especialistas y dirigida por ellos                  Destruye la belleza natural</p>
---	---

Según L. Nelson y J. Yudelson, *Criteria for appropriate technology*, Sacramento, Office of State Governor, 1976.

---

Tal vez la manera de resolver el problema de armonizar una definición de la TA con el concepto de tecnología en general, es fijarse en la palabra “ingeniería”. Es evidente que las tecnologías pueden ser apropiadas o inapropiadas en un contexto particular. Sin embargo, la ingeniería en tanto que profesión, en tanto que actividad descrita por una de sus asociaciones profesionales más antiguas como actividad “para el uso y la conveniencia del hombre” sólo puede ocuparse de la tecnología apropiada. Si los ingenieros utilizan tecnologías que no son apropiadas, es que son negligentes; si no saben lo que es apropiado es que son ignorantes; y si no se preocupan de lo que es apropiado pierden todo derecho a la consideración profesional. Por lo tanto, la tecnología apropiada no es ni más ni menos que un retorno a los fundamentos de la ingeniería y a la solución óptima de los problemas tecnológicos. Es esencial por derecho propio y no sólo por que haya una crisis particular en el mundo.

Sin embargo, es necesario añadir algo. En un mundo que cambia rápidamente y en el que los ingenieros se preocupan o deben preocuparse de la viabilidad futura, la virtud esencial reside en la previsión. Los países ricos han podido cometer errores en el pasado (en la política oficial, el desarrollo industrial y la explotación de los recursos, por ejemplo) y sobrevivir de todos modos. En cambio, los países pobres han tenido que considerar las consecuencias del fracaso. Sin embargo, ahora todos los países tienen que prever cada vez más las escaseces y otras crisis del futuro y dedicar sus inversiones de material y personal a bienes y servicios que sigan siendo viables a largo plazo. La función del ingeniero en esta previsión colectiva es esencial y la educación en tecnología apropiada debe prepararle para ello.

*¿Pero la tecnología apropiada se refiere únicamente a la extrema pobreza y a la necesidad de desarrollo?*

Probablemente es cierto que los problemas del desarrollo, las ideas de hombres como E. F. Schumacher y el concepto de tecnología intermedia han sido las causas primordiales del interés actual. Schumacher enunció el concepto de “tecnología intermedia” a mediados de los años sesenta. A su juicio, las poblaciones y los países pobres necesitaban tecnologías relativamente pequeñas, sencillas y con poca inversión de capital, que serían apropiadas para satisfacer las necesidades y los recursos de las comunidades pobres. Este enfoque centraba la atención en el hecho de que la tecnología no es un factor fijo o “dado” en el desarrollo, sino que es variable y adaptable. La invención del término “tecnología apropiada” deriva sin duda de estos antecedentes recientes y de la necesidad de encontrar una designación que tenga una validez más general y no esté ligada a una escala particular de equipo de producción. Sin embargo, las críticas dirigidas a la tecnología irreflexiva y al daño social

y ecológico que puede causar son por lo menos tan antiguas como la revolución industrial. Esas críticas se dejan oír hoy día en los países ricos tal vez más todavía que en los países que se encuentran en la fase inicial del desarrollo.

*¿Está limitada la TA a los ingenieros y al nivel profesional?*

Por supuesto que no. Si la TA significa con frecuencia elegir la sencillez más que la complejidad, o los recursos locales más que los materiales importados, se deduce que están implicados todos los niveles de capacitación. Esto suscita un punto importante: la tecnología apropiada depende a menudo de que haya personal convenientemente capacitado para mantenerla y aplicarla. Con demasiada frecuencia, el funcionamiento y el mantenimiento no pueden llevarse a cabo porque el sistema educativo es demasiado lento y no se capacitan convenientemente y en número suficiente los operarios y los técnicos. Ninguna tecnología digna de este nombre puede ser apropiada si el sistema de capacitación del país es inapropiado para las necesidades sociales y económicas.

*¿Cuáles son los fines educativos de la TA en la enseñanza de la ingeniería?*

De lo que ya se ha dicho se desprende claramente que pretender enumerar esos fines equivaldría a explorar la enseñanza de la ingeniería como un todo. Sin embargo, tratando la TA como un interés nuevo o reavivado en la enseñanza de la ingeniería, es posible sugerir algunos objetivos que deberían ser claramente articulados:

1. La capacidad para distinguir y abordar los principales propósitos sociales de la ingeniería.
2. La curiosidad relativa al contexto de un problema dado y la capacidad para analizar y describir ese contexto.
3. La capacidad para percibir una variedad de soluciones y consecuencias posibles.
4. La disposición a aplicar criterios apropiados en la elección de una solución sin una preocupación excesiva por consideraciones de prestigio científico o tecnológico; en otras palabras, de juzgar la propia ingeniería en función de las necesidades de las personas que no son ingenieros.
5. La determinación de procurar que tanto los encargados de tomar decisiones que no son ingenieros como el público en general se den cuenta plenamente de los posibles perjuicios y beneficios de cada tecnología particular y actúen en consecuencia.

*Todos sabemos que los administradores, los profesores y los estudiantes de todos los países están influidos por cuestiones de prestigio. ¿Cómo afecta esto a la introducción de la TA?*

Es indudable que la preocupación por el prestigio es una importante barrera para la aplicación racional de la tecnología al desarrollo social y económico. Una característica del hombre tecnológico es que la complejidad se convierte en un fin en sí mismo, que una tecnología científicamente difícil entraña más prestigio porque es difícil.

Lo mismo se aplica al simbolismo del equipo tecnológico. Una gran fábrica es más "visible" que un centenar de pequeños talleres; 20 km de autopista son más visibles que 200 km de carreteras rurales y una central de energía nuclear es más visible que varios cientos de unidades locales de energía solar o biogás. Si este simbolismo es propagado por la cámara fotográfica y por las fotos que adornan las paredes de las oficinas gubernamentales y las páginas de las revistas y los periódicos técnicos, su influencia puede infiltrarse por vías que tal vez ignoran los propios interesados.

La visibilidad de la alta tecnología significa también visibilidad y cierto tipo de prestigio para quienes la aplican. Las revistas y las conferencias internacionales sobre tecnología contribuyen a ello alimentando las ambiciones personales de los administradores y los tecnólogos. La ambición no es, por supuesto, deshonrosa, pero si la tecnología tiene que desarrollar todo su potencial para crear verdadera riqueza y reducir la pobreza real, la ambición tecnológica tiene que orientarse mejor que en el pasado.

Los administradores de la enseñanza superior no son inmunes a las influencias antedichas y los profesores académicos las sienten tanto como cualquiera. Sin embargo, la cuestión del prestigio interviene también en la concepción de los cursos y de las calificaciones. El enfoque de la enseñanza de la ingeniería centrado en la TA parece a veces carecer del cuerpo nítido y definible de teoría asociado a las ciencias exactas. Ese enfoque no siempre puede predecir los sectores útiles de las ciencias sociales. El enfoque centrado en las necesidades hace inevitable ese pragmatismo, a pesar de lo cual muchos administradores y académicos se sienten molestos por esa imprecisión conceptual o temen que disimule un pensamiento confuso.

Los recelos que suscita la situación académica del enfoque centrado en la TA se refuerzan cuando se llega a los problemas de experimentación. La norma científica es abordar la resolución de un problema a través de hipótesis que puedan enunciarse teóricamente y someterse luego a los elegantes experimentos necesarios para probar o desaprobar la teoría presupuesta. En la TA, los experimentos suelen ser menos elaborados. Es más probable que la solución de problemas implique un

equipo técnico de tamaño natural instalado sobre el terreno que se utilizará tanto para suscitar ideas como para esbozar o justificar una teoría. La intuición desempeña con frecuencia un papel en este proceso y tanto la intuición como la imaginación se han desdeñado en la enseñanza de la ingeniería. Los ingenieros en actividad pueden aducir con mucha razón que el retorno a un equilibrio más equitativo entre la intuición y la teoría y a un pragmatismo centrado en los resultados sería el retorno a la fuerza tradicional de la ingeniería. Sin embargo, muchos tecnólogos académicos no lo ven de esta manera.

Las nociones de problemas “bien definidos”, “imprecisos” y “espinosos” ofrecen probablemente la mejor manera de compender el problema del prestigio. Los problemas “bien definidos” pueden enunciarse de una forma precisa y objetiva. Las respuestas a ellos son “correctas” o “falsas” utilizando criterios inflexibles. Los problemas “imprecisos” suelen ser más difíciles de definir y su definición depende a menudo del punto de vista personal. Es más difícil formular y aplicar criterios y con frecuencia es difícil saber, al menos a corto plazo, si el problema se ha resuelto o simplemente transformado. Los problemas “espinosos” son formas extremas de problemas “imprecisos” en las que el encargado de resolverlos forma parte del problema.

Los problemas “bien definidos” constituyen la esencia de gran parte de lo que se enseña en ciencias en todos los niveles de la educación. Debido a que son nítidos y ordenados, y a que el éxito es inmediatamente visible, ofrecen la escalera para ascender en prestigio académico y profesional. Huelga decir que son más fáciles que los problemas “imprecisos” y “espinosos” que invaden no sólo la TA sino casi todos los desafíos profesionales en el mundo real. En consecuencia, no es necesario que los defensores de la TA se sientan molestos por la verdadera condición de su trabajo. Sin embargo, tienen que comprender los prejuicios de las personas a las que intentan convencer. En particular, deben reconocer que es necesario mantener, y a ser posible elevar, los niveles de calificación de los alumnos. Deben estar dispuestos a demostrar a sus colegas escépticos que los alumnos formados en TA son mejores ingenieros que los otros.

*¿Existen diferencias fundamentales, en esos problemas de prestigio, entre los países desarrollados y los países en desarrollo?*

No.

*¿Debe enseñarse la TA como una disciplina separada o como parte de otra disciplina?*

La TA no es ni más ni menos que un retorno a los fundamentos de la ingeniería “para uso y conveniencia del hombre” o una reafirmación de

esos fundamentos. En consecuencia, puede aducirse que no sólo es erróneo sino incluso ridículo tratarla como algo separado del núcleo de los estudios de ingeniería. La TA debe impregnar la totalidad del plan de estudios y su finalidad debe ser introducir una nueva ética en la enseñanza de la ingeniería y finalmente en la propia ingeniería.

Sin embargo, esto denota un afán de perfección que no tiene en cuenta los problemas de reforma, la necesidad de convencer a los colegas y de preparar nuevos materiales docentes, así como de establecer nuevos contactos fuera de la universidad, nuevas estrategias de aprendizaje y nuevos modos de evaluación. A corto plazo por lo menos, es necesario reservar un cierto número de horas y estimular al personal docente de manera que pueda establecerse un enfoque centrado en las necesidades y basado en los problemas sin arriesgar de retroceder a las antiguas vías de la abstracción y la despreocupación social.

Es secundario que tales disposiciones estructurales del plan de estudios se llamen tecnología apropiada o, por ejemplo, ingeniería y desarrollo, o ingeniería y necesidades humanas. Los defensores de la TA no se arrogan ninguna autoridad especial para decidir lo que es apropiado o inapropiado en una enseñanza centrada en las necesidades. Lo que importa no es el nombre sino la intención.

*¿Cómo puede saberse si la TA está tratada en el plan de estudios y si se está tratando satisfactoriamente?*

Existen dos procedimientos que se refuerzan mutuamente. Uno es utilizar algún tipo de lista de control, semejante tal vez a la que se ha dado hacia el comienzo de esta exposición y ver cómo el plan de estudios refleja los criterios de una tecnología apropiada. En la mayor parte de los casos es necesario aplicar esos criterios de un modo selectivo teniendo en cuenta cuál puede ser la especialización del programa de graduación, pero si los alumnos pueden decir algo interesante sobre la mayoría de los criterios y su aplicación al tipo de ingeniería que están estudiando, se habrá conseguido cierto éxito.

El segundo procedimiento es más decisivo porque requiere hacer en vez de simplemente hablar. Entramos así en el problema de los métodos de aprendizaje que se examinan más abajo, pero desde ahora es evidente que el aprendizaje activo, mediante proyectos y ejercicios análogos, es esencial. Dicho sencillamente, si los alumnos se comportan como personas que resuelven problemas de una manera sensata e imaginativa en sus proyectos, si desean saber y demuestran que saben encontrar la mayor parte de las cosas importantes en la formulación de sus problemas, si son capaces de identificar y de tratar los factores humanos y ecológicos que intervienen, los educadores estarán consiguiendo formar ingenieros competentes.

Sin embargo, este tipo de sugerencia es el que inquieta a los administradores universitarios que están acostumbrados a la medición precisa de los indicadores de éxito, aunque la validez de muchos de esos indicadores sea dudosa. Esta inquietud podría tal vez aclararse con una analogía. Supongamos que en una academia de música, un músico está pasando su examen final. Los profesores lo oyen interpretar y le dan puntos por cualidades tales como la interpretación, la expresión y la técnica, pero no miden la velocidad con la que toca en notas por minuto ni le dan el aprobado porque interprete toda la partitura sin hacer ninguna falta. Lo aprueban por su interpretación en conjunto, teniendo en cuenta lo que significa en el mundo de la música llamarse músico. No es mera retórica preguntar por qué los profesores de ingeniería competentes no serían capaces, al cabo de alguna experiencia, de formular un juicio razonablemente fidedigno sobre si sus alumnos asimilan la amalgama de conocimientos y técnicas que llamamos ingeniería.

*¿Qué grupos de temas o problemas son los más importantes en relación con las necesidades presentes y futuras y con los usos de la tecnología?*

Es de suponer que esta pregunta se refiere a la selección de problemas con fines docentes, a la estructuración de las unidades o módulos del curso en torno a la alimentación, la energía, la vivienda, la urbanización etc. No cabe duda de que este enfoque puede ser provechoso pero no es el único. Otro enfoque posible es orientar los estudios hacia grupos de personas que pueden tener necesidades múltiples, como un suburbio o una aldea, una minoría racial o un grupo de desempleados.

Es evidente que esos dos enfoques no son mutuamente exclusivos, pero la segunda sugerencia subraya la importancia de identificar, junto con los estudiantes, un grupo de clientes. Esto puede tener indudablemente un efecto sobre la motivación, y si puede establecerse un contacto directo entre los estudiantes y los clientes, los primeros tendrán el beneficio de conocer la reacción de los segundos sobre la viabilidad y aceptabilidad de sus propuestas. Además pueden tener la posibilidad de adquirir experiencia como agentes del cambio, lo que tal vez sea el papel más importante de todos en el desarrollo y el mejoramiento del medio.

*Dejando a un lado de momento esos propósitos sociales y recordando que los estudiantes de ingeniería deben ser competentes en ciencias ¿qué tipos de problemas pueden ser más adecuados a la utilización de sus conocimientos de las ciencias exactas?*

Es un profundo error tener prejuicios a este respecto. Probablemente hay pocas necesidades humanas que no tengan relación con la ingeniería

e indudablemente muchas a las cuales los conocimientos en ciencias exactas de los ingenieros pueden, inesperadamente aplicarse. Por ejemplo, se encargó a algunos alumnos del Imperial College de Londres que hicieran un estudio relativo a las “comidas sobre ruedas” en un barrio de Londres (el sistema en virtud del cual se sirven comidas calientes al mediodía a los ancianos que viven solos). Después de detalladas investigaciones, la contribución de los alumnos consistió en preparar un programa de computadora para planificar los desplazamientos de los vehículos y cambiar el diseño del equipo de calentamiento de la comida.

Es evidente que ciertos tipos de proyectos son más prometedores que otros pero no se puede estar demasiado seguro de ello por adelantado. Una parte del interés de la TA y de la motivación que puede aportar a la enseñanza de la ingeniería en su conjunto es el descubrimiento de que las técnicas de la ingeniería tienen una aplicación enormemente amplia.

*¿Se considera, por lo tanto, que los proyectos son la clave de la enseñanza eficaz de la TA?*

Sin duda es así, aunque debemos recordar que los proyectos pueden adoptar muchas formas. Pueden entrañar la participación de estudiantes aislados o de pequeños grupos. Pueden versar sobre investigación, desarrollo o ejecución. Pueden ser más o menos concretos. Pueden estar rigidamente formulados de antemano o pueden tener un comienzo o una terminación abiertos. Pueden exigir trabajos sobre el terreno, aunque algunas veces deben evitarse éstos. Su alcance es enorme y sólo se ha reconocido en años recientes.

*Teniendo en cuenta que todos tenemos límites en nuestro conocimiento y competencia, y que los estudiantes tienen a menudo una experiencia limitada del mundo exterior ¿No resulta difícil conocer y comunicar el entorno completo de un problema?*

Por supuesto que puede ser difícil. Lo importante es ofrecer el máximo de posibilidades. Éstas incluyen la experiencia del mundo real y los intereses del profesor; la presencia de alumnos procedentes del medio físico, social y cultural de que se trate; y los lazos entre la universidad y las personas ajenas a ella. No tiene sentido intentar lo imposible. Lo importante es reconocer exactamente lo que es posible.

*¿Qué puede decirse de los estudios de casos?*

Aquí se plantea un punto importante. Los estudios de casos se utilizan a menudo erróneamente en la enseñanza. Tendría poca utilidad tratarlos como simples episodios pretéritos para leerlos a los estudiantes o para

que éstos los lean, como un hecho aceptado y sin complicaciones. El potencial de los estudios de casos reside en revivir las dudas y la confusión con las que se enfrentaron los primeros que resolvieron el problema; en obligar a los estudiantes, en cada etapa del episodio, a tomar decisiones sin conocer las etapas siguientes. Se expone así a los estudiantes a las realidades de ser un ingeniero. Se les traslada de la pasividad a la participación activa. Esto significa que los estudios de casos deben estructurarse con ese propósito, sobre lo que volveremos más adelante.

*¿Qué puede decirse de las clases magistrales?*

Cada vez está más de moda disminuir la importancia de las clases magistrales. Es verdad que con frecuencia se abusa de ellas como un medio barato de transmitir información que podría tratarse mejor por otros medios. Alguien ha dicho que las clases magistrales son una manera de transferir hechos desde el cuaderno del profesor hasta el cuaderno del alumno sin pasar por la mente de ninguno de ellos. Y a veces alimentan simplemente la vanidad del profesor.

Sin embargo, esta crítica puede ser exagerada. La función primordial de las clases magistrales es suscitar la motivación (y hace falta un buen profesor para ello). La clase magistral tiene su máxima utilidad cuando el conferenciante es un testigo directo, una persona real del mundo real, que no sólo transmite hechos sino también las aptitudes y los métodos de quienes resuelven un problema del mundo real. Hay profesores que lo hacen, por supuesto, y todos hemos observado el efecto que esto puede tener sobre la motivación de los alumnos.

*Hemos examinado la importancia de conocer el contexto de un problema. Seguramente la experiencia directa de los alumnos también es importante.*

La palabra de moda es “empirismo”, que puede significar encuestas e investigaciones sobre el terreno, una visita de inspección o vivir y trabajar en el ambiente donde se plantea el problema. No hay duda de que esto es valioso, sumamente valioso, pero no es indispensable, y las dificultades financieras y de otro orden que puede presentar su realización no deben servir de excusa en modo alguno para suprimir el tema que pudiera estar implicado. En todo caso, algunos profesores y administradores académicos tienen dudas sobre esa actividad. Consideran que es un despilfarro de recursos educativos y es indudable que se puede incurrir en exageraciones. Debemos verla de un modo crítico y pensando siempre en el propósito y la eficacia de la educación.

*Está usted empezando a convencerme. Sin embargo, me pregunto sobre los recursos de todo tipo que son necesarios para desarrollar al máximo la enseñanza de la TA. ¿No estamos escasos de ellos, particularmente en los países en desarrollo?*

Nuestros colegas de los países en desarrollo encuentran, por supuesto, grandes dificultades para la enseñanza de la ingeniería. Sin embargo, algunos de esos problemas pueden ser debidos a que se da una importancia excesiva a una tecnología inapropiada.

En muchos casos, los problemas logísticos de las universidades reflejan los problemas económicos del país. Los problemas que plantea la enseñanza de un cierto nivel de tecnología reflejan con frecuencia los problemas inherentes al empleo de esa tecnología. La TA exige a los ingenieros que tengan las ideas claras sobre los fines y que sean realistas sobre las limitaciones. También pide a los educadores en la esfera de la ingeniería que no sean menos claros y realistas. Cuando lo sean con respecto a la ingeniería y a su enseñanza, algunos de sus problemas serán menores. O diferentes.

Debemos comprender claramente (todos nosotros, tanto en los países desarrollados como en desarrollo) que lo único que hace falta para empezar la enseñanza de la TA es un problema social que pueda ser resuelto por ingenieros. Una vez que se tiene eso y la sensibilidad para reconocerlo, todo lo demás es un lujo.

*No puede Vd. salirse del paso con esa respuesta. Debe haber algunos recursos educativos esenciales. ¿Qué me dice de los profesores de ingeniería a la altura de la situación?*

Cualquier profesor puede ser el hombre de la situación si la administración le estimula y ayuda. Con demasiada frecuencia, las mejores carreras están reservadas para los que se concentran en la investigación o la pseudo-investigación académica sin tener en cuenta las necesidades de su país. Es necesario que una personalidad influyente que pertenezca o no al medio universitario haga comprender claramente que la enseñanza de la TA será recompensada, que es la actividad más importante que sucede en la escuela de ingeniería. Es evidente que nadie se volverá competente de la noche a la mañana. Se necesita tiempo para cometer algunos errores y aprender de ellos, para modificar la propia línea de estudio y de experiencia, para adquirir el sentido de la TA, pero no se puede esperar simplemente a que se incorporen al personal de enseñanza nuevos profesores.

*¿Pueden participar otros tipos de profesores?*

Sí, tiene usted razón. Todos los tipos de profesores de otras disciplinas pueden contribuir a la enseñanza de la TA. Los economistas son un ejemplo evidente (siempre que puedan pensar más allá de los límites monetarios). Los sociólogos, los antropólogos, los psicólogos, los ecólogos y los agrónomos pueden ser todos ellos inapreciables y todos tenemos nuestro orden de prioridad al mirar esa lista. La posibilidad de obtener ayuda de ellos es otra cuestión, pues también ellos tienen colegas de categoría superior que están observando su labor de investigación especializada. Todo depende de la forma en que funcione la institución y de la calidad de su dirección. Si los profesores de ingeniería no pueden obtener ayuda de esos especialistas tendrán que ampliar sus lecturas por sí mismos. Probablemente es cierto decir que los ingenieros son con frecuencia más emprendedores a ese respecto que otros muchos universitarios.

*¿Qué ayuda puede esperarse de fuera de la universidad?*

Hay aquí dos tipos de recursos. Uno es un grupo de personas que tienen dificultades y que están dispuestas a aceptar que se les ayude a resolver sus problemas (ya hemos hablado de esto anteriormente). El otro tipo de recursos son los funcionarios encargados de resolver problemas y que tienen poca experiencia o pocas ideas, o simplemente poco tiempo. Algunos de ellos pertenecen a diversos servicios de la administración local o central. Según cual sea la situación general pueden ser muy útiles y estar muy agradecidos por la ayuda que se les pueda ofrecer. Es esencial para ello el contacto personal; conseguir conocer a los funcionarios interesados y mantenerse en relación con ellos.

*¿No escasean enormemente los materiales de referencia en las universidades de los países en desarrollo?*

Sí que escasean. Es difícil especificar en qué medida esos materiales son indispensables. Todo depende del tipo de investigación de que se trate y de la medida en que puedan ser útiles los materiales de referencia ordinarios.

*Ya hemos examinado el empleo de estudios de casos. ¿Son éstos escasos?*

En cierto modo lo son. Se dispone de multitud de informes (aunque a veces es difícil obtenerlos) sobre los éxitos conseguidos. Es, por supuesto, natural que quien escribe sus experiencias se concentre en las cosas que

han salido bien y deje a un lado todas las pistas falsas y las suposiciones erróneas, pero desde el punto de vista educativo esto es una pérdida porque la pureza y la sencillez del informe significa que se ha perdido alguna de las experiencias adquiridas en la resolución de los problemas. También significa que es difícil utilizar el estudio de casos paso a paso según el método expuesto anteriormente.

*Y ahora la pregunta final: ¿qué pueden hacer las organizaciones nacionales e internacionales para estimular y favorecer la introducción de la TA en la enseñanza de la ingeniería?*

Hay que considerar todas las actividades habituales: conferencias y seminarios, becas, planes para la adscripción e intercambio de profesores y así sucesivamente. Las conferencias que se limitan simplemente al intercambio de lugares comunes sirven para poco. Los seminarios, organizados en menor escala y regionalmente, pueden hacer mucho más siempre que se haga hincapié en el trabajo. Todos los participantes regresarán con algo que han contribuido a preparar y que pueden utilizar inmediatamente en la clase. Sin embargo, todas las reuniones deben reconocer que las ideas renovadoras pueden perderse rápidamente cuando el participante regresa a una institución estática desde el punto de vista educativo. La “ley del retroceso inevitable” es poderosa y las reuniones más eficaces son las que cumplen dos condiciones: el jefe del departamento ha accedido a que el participante tenga la obligación de introducir el contenido y las ideas pertinentes en el plan de estudios después de su asistencia; que se haya programado algún tipo de reunión ulterior para garantizar que las experiencias subsiguientes sean compartidas y examinadas.

Ya hemos señalado anteriormente que la publicación en revistas especializadas e internacionales es una importante actividad de la mayor parte del personal universitario. También es evidente que muchas revistas sobre sectores especializados de ciencia de la ingeniería son reacias a publicar artículos que carecen, a juicio de los expertos encargados de juzgarlos, de la pureza y la erudición académicas habituales. Esto nos lleva a la conclusión de que hay un sitio, todavía vacante, para una revista internacional de estudios de casos de tecnología apropiada. Esta revista tendría que estar sometida al juicio de expertos para garantizar su nivel y su utilidad, pero los criterios de aceptación de los artículos tendrían que redactarse cuidadosamente para lograr que la revista no incurriera en la esterilidad y la abstracción de los llamados estudios sobre el desarrollo de muchas revistas. Sobre todo, esa revista debería dar la prioridad a la educación. La enseñanza de la ingeniería sólo ayudará al futuro de los pueblos fomentando el espíritu de la TA entre los estudiantes de ingeniería en todos los niveles y en todo el mundo.

## La tecnología apropiada en el plan de estudios universitarios

En los siguientes resúmenes se describe la enseñanza de la tecnología apropiada en varios programas universitarios.

IMPERIAL COLLEGE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY, LONDRES.  
LA TECNOLOGÍA APROPIADA EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
QUÍMICA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA

### *Nivel universitario*

En este nivel, todas las actividades se han centrado en los proyectos del último año. Los alumnos trabajan en parejas durante un semestre en un proyecto de investigación o de diseño. Durante los últimos siete u ocho años, varios de esos proyectos se han relacionado con los problemas del desarrollo, por ejemplo, los estudios sobre la fabricación del azúcar (concepción de evaporadores).

Los proyectos rara vez ofrecen respuestas definitivas a problemas inmediatos ni éste constituye su principal objetivo. Los proyectos son muy útiles al justificar y suscitar el interés por una serie de problemas que de otra manera se omitirían en el plan de estudios de graduación.

### *Nivel postuniversitario*

*Enseñanza.* Durante los últimos cinco años se ha impartido un módulo de 20 horas sobre tecnología y desarrollo como parte del diploma de M.Sc. en ingeniería química superior (véase un resumen más abajo). Este curso es también ahora un elemento obligatorio de la preparación de un diploma de M.Sc. en tecnología del medio ambiente organizado por varios departamentos y que ha tenido mucha aceptación. El curso es impartido conjuntamente por un grupo de ingenieros (dos de ingeniería química) y especialistas en ciencias sociales (dos del Departamento de Estudios Económicos y Sociales) y está dividido por igual entre clases magistrales y debates. El programa de estudios demuestra que el módulo tiene un amplio alcance y abarca más que la tecnología intermedia. El curso se concentra más bien en un examen de la hipótesis de que la ciencia y la tecnología son autónomas y no pueden ser objeto de un juicio de valor. Los estudiantes hacen numerosas lecturas y redactan un ensayo y un estudio de caso basado en la tecnología. Por ejemplo, en 1978, los estudios versaron sobre producción de fertilizantes, utilización de mandioca y producción de energía para las zonas rurales.

En 1978 se introdujo un segundo módulo, vinculado al anterior, sobre elección y evaluación de proyectos, haciendo especial hincapié en los problemas de los países en desarrollo.

Desde 1978 ambos proyectos forman parte de un curso completo de un año para el diploma de M.Sc. sobre tecnología y desarrollo. Más abajo también se dan algunos detalles sobre el particular. El programa y la estructura de los estudios integrará varios temas que se están preparando en el departamento.

*Proyectos de investigación.* En el departamento se han realizado numerosos proyectos relacionados con los países en desarrollo en los niveles de M.Sc. (un año) y de Ph.D. No se ha seguido una pauta fija y los proyectos han incluido estudios experimentales, estudios teóricos o analíticos y estudios cooperativos (con inclusión de trabajos sobre el terreno en ultramar).

Algunos temas de proyectos recientes han sido los siguientes: extracción de proteínas a partir de emulsiones de aceite de coco; cinética de la fermentación anaerobia (producción de metano); estudios sobre fermentación con gran concentración de materia sólida; pirólisis de sustancias celulósicas; estudios de viabilidad y estudios de sistemas de la producción de alcohol a partir de azúcar y madioca; estudio de diversas tecnologías de producción de fertilizantes con especial referencia a África; estudios sobre diseño óptimo de procesos químicos en los países en desarrollo.

Los proyectos de este tipo pueden tener por lo menos tres finalidades: *a)* el desarrollo educativo de cada alumno; *b)* la resolución de problemas particulares (sobre todo en un marco cooperativo); *c)* contribuir a cambiar las actitudes generales hacia la tecnología apropiada en las universidades.

#### *Tecnología y desarrollo. Resumen del módulo de 20 horas*

1. Países desarrollados y países en desarrollo: ¿qué es el “subdesarrollo”? Teorías del subdesarrollo y estrategias del desarrollo basadas en ellas.
2. Problemas del desarrollo: modernización e industrialización; creación de una dinámica del desarrollo económico (multiplicador); disponibilidad y ordenación de los recursos; crecimiento y distribución de la población.
3. Función de la tecnología en el desarrollo: distribución mundial de los recursos científicos y técnicos; “retraso tecnológico” y dependencia tecnológica. Las políticas tecnológicas en la práctica y sus consecuencias. Las instituciones científicas, y especialmente las instituciones de investigación, en los países en desarrollo.
4. La propiedad internacional, el control y la transferencia de tecnología: acuerdos de comercio y ayuda en los que interviene la tecnología; requisitos y problemas de costos en la transferencia internacio-

nal de tecnología; patentes, nombres registrados y marcas de fábrica y su función en los países en desarrollo. Contratos de tecnología y sus condiciones. Función de las instituciones de consulta y proyectos en los países en desarrollo.

5. Corporaciones internacionales: sus características y objetivos; su propiedad y control de la tecnología; su política hacia los países en desarrollo y su intervención en ellos. Consecuencias de las inversiones multinacionales sobre el crecimiento económico de los países en desarrollo.
6. Estudios de casos: a) desarrollo y operaciones corrientes de una corporación multinacional; b) ejemplo de un contrato de tecnología: sus antecedentes y condiciones.
7. Tecnología local y tecnología apropiada: elección de la tecnología, escala y restricciones. Adquisición, producción y adaptación de la tecnología en los países en desarrollo.
8. Estudio de caso: elección de técnica y elección de producto, por ejemplo, producción de azúcar o agente edulcorante.
9. Tecnologías para el desarrollo rural: ingeniería agrícola, la revolución verde; productos agroquímicos, etc.
10. Desarrollo autónomo: un estudio de caso, por ejemplo, China.
11. Proyectos de los alumnos: ensayo; estudio de caso.

#### *Diploma de M.Sc. en tecnología y desarrollo. Resumen del curso*

Este curso multidisciplinario de un año se inició en octubre de 1978. Se imparte a los alumnos una formación superior en ingeniería y un conocimiento y análisis de la naturaleza del desarrollo y el papel de la tecnología en la industrialización. Los elementos de ingeniería del curso comprenden módulos seleccionados de los cursos postuniversitarios existentes. La base inicial del curso es una selección de módulos existentes en el Departamento de Ingeniería Química y Tecnología Química, pero se espera ampliar esta medida para abarcar otros departamentos lo antes posible.

Este curso tiene una estructura modular. Los componentes socioeconómicos se presentan como sigue: hay un extenso módulo preliminar sobre el contexto económico y social del desarrollo, seguido de módulos en los que se examinan los problemas, los métodos y las instituciones que intervienen en la elección, la preparación y la transferencia de tecnología, así como las técnicas modernas de evaluación de la tecnología (proyectos). Este trabajo se complementa con seminarios basados en estudios de casos que desempeñan una importante función al permitir la síntesis de las materias tratadas en el curso y proporcionar la ocasión de estudios multidisciplinarios. Los alumnos realizan también un importante estudio de caso sobre un tema relacionado con el curso basándose

en su experiencia y su formación en ingeniería. Se hace así un considerable esfuerzo para relacionar entre sí los distintos componentes del curso, insistiendo especialmente en la integración de los estudios socioeconómicos y tecnológicos.

### *Esbozo de los cursos*

1. El contexto del desarrollo. Generalidades destinadas a impartir al alumno el conocimiento del contexto económico y social en el que tiene lugar el esfuerzo de desarrollo. Se hará especial hincapié en la economía del desarrollo y en el papel de la tecnología.
2. Fuentes y elección de la tecnología. Problemas y posibilidades de adquisición de capacidades: transferencia y elección de tecnología; examen de la diversidad (o diversidad potencial) de las tecnologías disponibles para obtener productos de funciones similares y evaluación de otras tecnologías posibles.
3. Evaluación de proyectos. Estimación de costos y evaluación de proyectos con especial referencia a los países en vías de industrialización; métodos de análisis de costos y beneficios; consecuencias y limitaciones de los métodos de análisis de costos y beneficios sociales en la concepción de técnicas y procesos.
4. Seminario de estudios de casos. Los estudios de casos sirven para ofrecer una variedad de material comparativo que no es posible conseguir de otro modo; ellos ilustran la naturaleza multidisciplinaria de los problemas en los que está centrado el curso; también se utilizan para ofrecer una tribuna de conferencias a especialistas exteriores.
5. Estudio de caso principal (proyecto). Es un estudio multidisciplinario en el que interviene el análisis socioeconómico y tecnológico. El contenido tecnológico del estudio gira en torno a la disciplina en la que se ha formado el alumno y, de ser posible, en torno a un sector tratado en uno o varios de los cursos superiores de ingeniería que se han seguido. Se centra en un problema específico de un país en desarrollo. En la supervisión del proyecto interviene también personal con experiencia y práctica en ese sector especializado.
6. Especialización en las ciencias de ingeniería. Consiste en elegir alguno de los módulos existentes en otros programas postuniversitarios del Imperial College. Por ejemplo, un alumno con formación en ingeniería química podría elegir tres de los siguientes temas: preparación de modelos y control de sistemas; análisis y concepción de reactores químicos; concepción con ayuda de computadoras; transferencia de masa por difusión con reacción química; reacciones bioquímicas; ingeniería bioquímica.

UNIVERSITY OF EDIMBURGH. LA TECNOLOGÍA APROPIADA  
EN LA ESCUELA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

El programa normal de estudios universitarios dura cuatro años y la Escuela ofrece especialidades en ingeniería eléctrica, mecánica y química. La tecnología apropiada se introdujo primero en el programa de ingeniería eléctrica, pero está representada ahora en las tres especialidades. Los procedimientos de aprendizaje y los sectores de interés varían de un profesor a otro y el objetivo de los interesados por la TA es lograr que su influencia impregne el enfoque de la ingeniería y la responsabilidad profesional en toda la Escuela.

*Nivel universitario*

*Primer año* (todas las especialidades). Curso de clases magistrales sobre TA. Los alumnos redactan dos ensayos de 2500 a 3000 palabras, uno sobre política energética y otro sobre consecuencias sociales de la ingeniería.

*Tercer año* (ingeniería eléctrica). Todos los alumnos realizan dos estudios o proyectos de concepción, que reflejan los intereses tanto de los profesores como de los alumnos y que se refieren frecuentemente a la TA.

*Cuarto año* (electrotécnica; producción de electricidad). Todos los alumnos realizan un proyecto largo y una disertación. Esta última suele ser sobre un tema de TA. Como ejemplos recientes cabe citar: *a)* El efecto de un horno de fusión de aluminio sobre el medio ambiente; *b)* El suministro de energía eléctrica a islas remotas; *c)* La elección de sistemas de generación de energía; *d)* Efectos sobre el desarrollo de un sistema integral de irrigación y producción de energía hidroeléctrica.

*Nivel postuniversitario*

Algunos estudios son supervisados conjuntamente con la Unidad de Estudios Científicos de la Universidad. Entre los proyectos recientes cabe citar: *a)* Producción de energía para la agricultura generada por pedal; *b)* Estudio de los aspectos políticos y tecnológicos de un sistema hidrográfico general; *c)* Aprovechamiento de residuos agrícolas tropicales como materia prima industrial; *d)* Flujo de energía en una agricultura de subsistencia; *e)* Elección de nuevas tecnologías a nivel de aldea; *f)* Difusión de tecnología introducida en las aldeas; *g)* Tecnología del reparto de aguas; *h)* Estrategia del aprovechamiento del agua; *i)* Efectos sociales de las industrias electrometalúrgicas en gran escala.

Muchos de estos proyectos son el resultado de un contacto directo sobre el terreno o de sugerencias o peticiones procedentes del extranjero. Es corriente que los alumnos del nivel postuniversitario pasen de ocho a doce meses realizando trabajos sobre el terreno y que se preparen para ello aprendiendo idiomas cuando sea necesario.

#### UNIVERSIDAD BU-ALI SINA. LA TECNOLOGÍA APROPIADA PARA EL DESARROLLO RURAL

Los estudios universitarios de ingeniería rural duran cuatro años y conducen al diploma de Bachelor of Science. Este programa se inició en el año académico de 1977 en el que se admitieron los primeros sesenta alumnos. Como en todos los programas universitarios que se imparten en la Universidad, el primer año se dedica al estudio del francés (el segundo idioma de enseñanza en la Universidad) y a los cursos básicos comunes, que incluyen las ciencias exactas y naturales, la economía, la sociología y una introducción a las teorías y filosofías del desarrollo.

La parte principal del programa comprende: *a*) la aplicación de las técnicas de la ingeniería a la solución de los problemas del medio ambiente que plantean las tecnologías existentes (por ejemplo, el control de la contaminación) y *b*) la concepción y la aplicación de tecnologías ambientalmente inocuas y apropiadas.

El alumno tiene que especializarse en un campo en el que será competente pero, al mismo tiempo, sin perder de vista el hecho de que este programa debe prepararle para una gran variedad de aptitudes prácticas que tendrá que utilizar después de graduarse.

Brevemente enunciados, los objetivos generales de las secciones especializadas del curso son: *a*) mejorar los conocimientos teóricos fundamentales del sector particular elegido por el alumno; *b*) dar al alumno experiencia en una serie de técnicas que tendrá que ser capaz de aplicar con confianza; *c*) capacitar al estudiante para realizar trabajo independiente en su propia especialidad; *d*) permitir al estudiante ir más allá de la simple aplicación de sus capacidades en el vacío, y hacerlo capaz de crear la infraestructura para el mantenimiento y la reproducción de las obras civiles emprendidas.

A continuación se describen los principales sectores de especialización.

#### *Construcción*

El alumno tiene que familiarizarse con las técnicas generales de la ingeniería civil y, más particularmente, con las técnicas y los materiales adecuados para la construcción a bajo costo y mano de obra intensiva de carreteras y edificios en las zonas rurales y en las zonas urbanas margi-

nales. En el curso se utilizan los textos corrientes de ingeniería civil, los adelantos pertinentes en la esfera de la tecnología apropiada y los conocimientos tradicionales relativos a la construcción.

Los cursos ordinarios de ingeniería civil incluyen los principios de construcción; la topografía; la interpretación de dibujos arquitectónicos y planos topográficos; el estudio de los emplazamientos y la concepción de cimientos; la concepción detallada de edificios y sus correspondientes servicios tales como baños públicos (hammams); abastecimiento de agua y alcantarillado.

Estos cursos están integrados con estudios de casos y trabajos prácticos sobre el terreno y en el laboratorio con objeto de que el alumno se familiarice a un nivel general con:

1. El medio ambiente y el contexto social y económico de la edificación en el Irán, que incluye: el estado de las viviendas disponibles en distintas regiones, la naturaleza de la demanda actual; la estructura de la industria; el régimen de propiedad y las rentas; los oficios y las características del empleo; los reglamentos de edificación; las organizaciones gubernamentales relacionadas con la industria de la construcción y las publicaciones básicas en la esfera de la construcción rural.
2. Los aspectos organizativos de los programas de construcción rural, con inclusión de su calendario, el suministro de mano de obra y de materiales, el costo y los factores climáticos.
3. Los métodos tradicionales de construcción, con inclusión de los adobes, los morteros de barro y el empleo de bóvedas y cúpulas. Los estudiantes deben conocer las ventajas y desventajas de tales métodos en comparación con las técnicas "modernas" y las posibles modificaciones de los métodos tradicionales.

Las competencias particulares incluyen:

1. La capacidad para planificar y dirigir independientemente un proyecto de construcción de una duración de tres semanas.
2. Los aspectos administrativos de los proyectos de edificación rural, tales como la mano de obra, el costo, el calendario, los factores meteorológicos y el suministro de materiales.
3. Los factores geológicos y litológicos que pueden afectar los cimientos, el avenamiento, el suministro de materiales, la topografía de la aldea y las características térmicas de un lugar.
4. Las fuentes de abastecimiento de todos los materiales, la organización del trabajo para la utilización óptima de los materiales locales y el establecimiento de servicios locales de suministro.
5. Los métodos y los materiales tradicionales, así como la forma en que pueden modificarse o combinarse con las técnicas modernas para obtener soluciones eficaces y económicas de los problemas de estructura y vivienda.

6. Los principios que permiten tener en cuenta las circunstancias climáticas, la concepción de estructuras que utilizan el flujo natural de energía de la manera más eficaz posible; los factores sociales que determinan la forma y la estructura de las casas y la concepción de viviendas y edificios públicos apropiados; los requisitos técnicos aplicables a estructuras especiales tales como hornos, silos, establos y biodigestores; los métodos especiales de construcción, por ejemplo, para la protección contra los terremotos.
7. La construcción de carreteras rurales de distintos tipos; la capacidad para planificar una red de transporte apropiada para una localidad dada.
8. La concepción, el trazado y la construcción de estructuras hidráulicas elementales tales como presas, embalses, conductos y esclusas.

### *Tecnología hidráulica*

En la opción de tecnología hidráulica se dan cursos extensivos para inculcar al estudiante un conocimiento teórico firme de la hidráulica, la hidrología y el tratamiento del agua. Otros cursos estudian la política y la planificación nacional del agua en el Irán. Se imparte así un conocimiento fundamental del agua como recurso natural en las zonas urbanas, suburbanas y rurales.

Los cursos se combinan con trabajos prácticos (en el laboratorio y sobre el terreno) y con estudios de casos de modo que el estudiante adquiera competencia en las siguientes esferas:

1. Planificación, ejecución y evaluación de un proyecto independiente sobre abastecimiento de agua o saneamiento, incluido el conocimiento de las técnicas de tratamiento primario, secundario y terciario del agua.
2. Los métodos básicos de captación y almacenamiento de agua, incluidas la concepción, la supervisión y la construcción de pequeñas presas rellenas de arena y de roca para el almacenamiento de agua o la producción de energía hidráulica.
3. Los principios de la ingeniería del riego, incluidos los métodos para reducir la erosión, la evaporación, la infiltración y la lixiviación de sales.
4. La supervisión de la construcción o la modificación de los elementos físicos del sistema local de abastecimiento de agua, tales como bombas, canales, paredes, "ganates" (véase más abajo), tuberías y derivaciones, a fin de satisfacer de un modo eficaz y económico las necesidades de una población local.

En particular, el alumno estudia las necesidades locales y la ordenación apropiada del abastecimiento de agua en el proyecto situado cerca de Hamadán. Esto entraña evaluar el papel de los métodos tradicionales de

abastecimiento de agua, en particular el “ganat” (un antiguo método de captar la capa freática mediante un canal subterráneo suavemente inclinado, junto con una serie de pozos que se utilizan para construir y reparar el canal). En años recientes, este sistema ha caído en el abandono. Las investigaciones realizadas por los alumnos y los profesores evaluarán: *a)* la eficacia básica del ganat; *b)* las razones de su decadencia; *c)* las posibilidades de revitalizar el método; *d)* otros métodos de riego adecuados a las condiciones locales.

### *Abastecimiento de energía en las zonas rurales*

Esta parte comprende el estudio de:

1. La política energética nacional y la evaluación de los aspectos ambientales y sociales del abastecimiento de energía en los planos nacional y local, así como el estudio de las publicaciones básicas y el conocimiento de las organizaciones del Irán y otros países relacionadas con el abastecimiento de energía.
2. Las modalidades de utilización de la energía y las necesidades de energía existentes en una localidad dada, así como las tendencias generales en el cambio de las modalidades de utilización.
3. La gama de fuentes posibles de energía, es decir, la captación y aprovechamiento de la energía solar y su inclusión en la concepción de edificios de bajo consumo de energía adaptados al clima, las fuentes biológicas de energía y los procesos anaerobios de producción de biogás a partir de restos animales y vegetales; así como la captación de la energía eólica e hidráulica para la producción de electricidad y fuerza.
4. La evaluación de la adecuación de diversas posibilidades a base de criterios económicos, sociales y ambientales.
5. Los principios de la ingeniería aplicables a la electrificación rural, con inclusión de la producción, el control, el almacenamiento, la transmisión y la distribución de la electricidad.

### *Industrias rurales*

Este curso comprende estudios sobre:

1. La situación económica del Irán y las tendencias de la política a mediano y a largo plazo, teniendo en cuenta la importancia de mantenerse al corriente de los cambios de la política gubernamental y las tendencias económicas.
2. La legislación relativa a las zonas rurales y las organizaciones gubernamentales relacionadas con el sector productivo en dichas zonas.
3. La gama de las empresas y las artesanías tradicionales (alfarería, fabricación de alfombras, tintorería, trabajo del cuero, producción

textil, confección de vestidos, fabricación de muebles y armarios y producción de equipo agrícola) en las zonas rurales del Irán; los factores económicos, sociales y técnicos que las han originado y los cambios que se están produciendo debido a la evolución de la economía del Irán en su conjunto.

4. Los principios de administración de las empresas rurales, del análisis de mercados y la comercialización, el acopio de capital y las nociones de contabilidad;
5. Los principios técnicos y administrativos aplicables a la recolección, el almacenamiento, el tratamiento y la comercialización de alimentos producidos localmente, así como las posibilidades económicas de otros productos naturales, como las plantas medicinales, la madera, los colorantes, los plaguicidas naturales y los productos de origen animal.
6. Los tipos predominantes de aperos agrícolas y los métodos de fabricación y reparación de los mismos.
7. La función central del taller general en los proyectos de desarrollo autónomo y el establecimiento y aprovisionamiento de un pequeño taller diversificado para fabricar y reparar aperos agrícolas, utensilios domésticos, equipo relacionado con la energía y otros objetos.
8. La demanda local de construcción y la naturaleza de las actividades locales de construcción; el establecimiento de organizaciones para el suministro de materiales o la prestación de asistencia técnica en los proyectos de construcción.

LANCHESTER POLYTECHNIC COVENTRY, UNITED KINGDOM.  
 LA TECNOLOGÍA APROPIADA  
 EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA COMBINADA

### *Introducción*

El Departamento considera que la ingeniería es una profesión para personas con amplitud de miras. La industria parece darse cada vez más cuenta de sus obligaciones hacia su personal y hacia la sociedad en general, y se están eligiendo los directores principales entre los ingenieros capaces de responder al mundo que les rodea y dotados de imaginación para prever las necesidades futuras. El objetivo del programa de graduación en ingeniería combinada del Lanchester Polytechnic es ofrecer a esos futuros directores la oportunidad de ocuparse de problemas que no sólo tienen dimensiones técnicas sino también sociales y comerciales. Esto lleva implícito que la tecnología debe ser apropiada para su entorno total y no sólo para los fines del desarrollo económico.

### *Programa básico*

El programa consiste en módulos de cuatro niveles correspondientes a un total posible de cuatro años de estudios. Los módulos del primer nivel están destinados a los estudiantes cuyo certificado final de estudios secundarios, aunque satisfactorio en otros aspectos, no incluye las matemáticas ni las ciencias. Los estudiantes plenamente calificados empiezan con los módulos del segundo nivel que ofrecen los fundamentos de la ingeniería eléctrica, mecánica e industrial, junto con los principios de la computación, la experimentación y la concepción. Los módulos del tercer y del cuarto nivel, entre los que el estudiante elige el programa que mejor se ajusta a sus necesidades, consisten en estudios superiores sobre las disciplinas de la ingeniería, la producción y el comercio.

En el tercer nivel hay módulos obligatorios relativos a las aptitudes prácticas de la experimentación, la concepción y la dirección. En el cuarto nivel, los módulos prácticos, también obligatorios, se ocupan del diseño. En todos los niveles, una gran parte del trabajo práctico toma la forma de proyectos. Estos pueden estar rigurosamente limitados y, en consecuencia, son más simples en los niveles inferiores. Los problemas de los niveles superiores tienen más amplitud y complejidad, y las limitaciones pueden incluir restricciones de costo, materiales disponibles, procesos de producción, métodos de montaje, empleo de productos patentados, mantenimiento, seguridad, requisitos legales y aceptabilidad social en general. Todos estos factores contribuyen a la evaluación de la adecuación y hacen que los alumnos se den cuenta de los numerosos criterios que deben considerarse al elegir la solución de un problema dado.

### *Trabajo de proyectos*

Una parte del trabajo de proyectos se realiza por grupos de estudiantes. Entre los ejemplos recientes cabe citar la concepción de un pequeño automóvil para centros urbanos, rigurosamente limitado en sus dimensiones, que no produzca contaminación, legalmente aceptable y socialmente atractivo. Otro ejemplo es la concepción de un invernadero para la producción intensiva de alimentos. La unidad tenía que conseguir un aprovechamiento óptimo de la energía solar y otra energía renovable, junto a una dependencia mínima con respecto a los combustibles fósiles. El proyecto tenía que satisfacer las necesidades ambientales de las plantas alimenticias así como las restricciones de los procesos y los costos de fabricación.

Un tercer ejemplo de un proyecto en grupo se refiere a los problemas que encuentran los deficientes físicos en un recinto comercial cercano. Se prestó la máxima atención a las necesidades de movilidad, tanto para los deficientes como para los no deficientes. La evaluación del proyecto

apropiado no sólo incluía los materiales y los componentes sino también aspectos tales como la disponibilidad de recursos financieros.

Además de participar en un proyecto colectivo, la mayor parte de los alumnos realizan un proyecto individual durante su último año. Esto requiere al menos cuatro horas semanales durante treinta semanas. Se considera importante que el alumno trabaje en algo que suscite su interés personal y ocurre con frecuencia que los aspectos teóricos y experimentales desplazan a los aspectos económicos y sociales. El personal del departamento considera que esto no es satisfactorio y, en consecuencia, se estimula a los alumnos a elegir proyectos que relacionen la formulación del problema y las soluciones propuestas con el contexto económico y social.

Se ha observado que los estudiantes menos capacitados no pueden abarcar esa complejidad y prefieren empantanarse en el detalle de la experimentación. Los mejores estudiantes, habiendo asimilado el mensaje de sus primeras clases de diseño, reaccionan de otra manera. Acogen con satisfacción la oportunidad de realizar un proyecto que les permite reflexionar sobre los antecedentes de los problemas elegidos y las consecuencias socioeconómicas de sus propuestas.

Algunos ejemplos de proyectos individuales recientes permiten apreciar la diversidad de los temas. Un proyecto, realizado por un estudiante iraní que tenía la intención de establecer una pequeña fábrica, comprendía el estudio de la estructura económica del Irán. Otro, realizado por un inmigrante al Reino Unido, estudiaba las razones de la gran renovación de la mano de obra en una fábrica local. Un estudiante gibraltareño, que ocupa actualmente un puesto elevado en el servicio telefónico de Gibraltar, hizo un estudio sobre el futuro de las telecomunicaciones en la península. El último ejemplo es una evaluación de la planificación del transporte en la región de las Midlands del Reino Unido.

De esta breve nota se deduce claramente que la tecnología apropiada no se trata como una abstracción o un tema separado en el Departamento, sino como un aspecto esencial de todas las enseñanzas de diseño.

UNIVERSITY OF WARWICK. EL DISEÑO TECNOLÓGICO  
Y LA TECNOLOGÍA APROPIADA  
EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA

Desde hace casi cuatro años, los miembros del Departamento de Ingeniería interesados de algún modo en las tecnologías alternativas, las tecnologías intermedias, el diseño y la evaluación pública de la tecnología han examinado la posibilidad de que esos temas se enseñaran a nivel universitario y de qué manera debería impartirse esa enseñanza. Una encuesta escolar realizada en 1975 reveló un vivo interés por un curso que relacionara la ingeniería con objetivos sociales más amplios.

Durante los últimos tres años parece haberse producido un desplazamiento desde los cursos de cultura general hacia los cursos de enseñanza profesional en las preferencias de los estudiantes. Sin embargo, el interés por las tecnologías de sustitución sigue aumentando, las tecnologías intermedias están siendo fomentadas por varios gobiernos y organismos internacionales (por ejemplo, en la India, Ministry of Overseas Development y el Banco Mundial) y, a nivel nacional, la crisis del sector de pequeñas empresas de la economía británica es objeto de atención. En consecuencia, el Departamento ha preparado un curso profesional para los estudiantes que deseen trabajar en pequeñas empresas, en el extranjero, en el desarrollo rural o en comunidades autosuficientes, o que aspiren a ser ingenieros de proyectos en una empresa tradicional (es decir, las grandes empresas). La correspondencia mantenida con unas 50 organizaciones durante los últimos meses confirma que hay una considerable demanda de graduados técnicamente polivalentes, familiarizados con las limitaciones socioeconómicas que influyen en la concepción y la producción y dispuestos por lo menos a considerar una actividad como jefes de empresa más que como empleados.

El programa de graduación expuesto más abajo tiene aproximadamente un 70 por ciento de clases comunes con el curso existente de ciencias de la ingeniería. Está basado en la ingeniería mecánica y es algo menos matemático que los otros diplomas de ingeniería que se otorgan en Warwick. En el primero y el segundo año no hay opciones, pero en el último año los alumnos pueden especializarse en la producción y la concepción, la tecnología para el desarrollo en el extranjero o en la evaluación tecnológica. La ingeniería agrícola tiene cierta preeminencia en el curso porque es importante para el desarrollo rural, porque es un campo en el que las pequeñas empresas son especialmente activas y porque ofrece un buen vehículo para el estudio de la concepción, la producción y la distribución de equipo. El trabajo de laboratorio durante cada uno de los dos primeros años sólo consta de unas 100 horas para reservar otras 100-150 horas a los ejercicios de concepción. A ese respecto, el estilo de enseñanza del curso se asemeja más a la arquitectura o a la concepción industrial que a la ingeniería. Se tiene la intención de que los ejercicios del segundo año incluyan la creación y el funcionamiento temporal de pequeñas compañías, como se ha hecho con éxito en algunas escuelas.

Ya se han establecido lazos con varias organizaciones locales en los sectores de la agricultura, la tecnología intermedia y las pequeñas empresas, así como con organizaciones nacionales. El programa comenzó en octubre de 1980 y los objetivos para las tres primeras matriculaciones fueron de 15, 20 y 25 alumnos.

## ANEXOS

**1. Participantes en el seminario**

David Brancher

Deputy Director of Complementary Studies, University of Aston in Birmingham (*presidente y responsable del informe*)

John Davis

Coordinator of 'AT for UK' (ITDG Programme)

Harold Dickinson

School of Engineering Science, University of Edinburgh

Peter Fraenkel

Power Project Officer, ITDG

Sandy Livingstone

Department of Combined Engineering, Lanchester Polytechnic

Robert McCutcheon

Building Economics Research Unit, University College, London

George McRobie

Chairman, Intermediate Technology Development Group

Derek Miles

Building and Construction Project Officer, ITDG

Leo Pyle

Department of Chemical Engineering, Imperial College of Science and Technology

Terry Thomas

Department of Engineering Science, University of Warwick

Stuart Wilson

Department of Engineering Science, University of Oxford

## 2. Ejemplos de programas de cursos sobre tecnología apropiada

Curso	Número de horas		
	1. <sup>er</sup> trimestre	2. <sup>o</sup> trimestre	3. <sup>er</sup> trimestre
PRIMER AÑO			
Termodinámica clásica	20		
Sistemas combinados	20		
Proceso de diseño	10		
Tecnología de materiales			15
Matemáticas técnicas (parte)	25	20	
Mecánica aplicada a la ingeniería	20	10	
Elasticidad		10	
Estudios tridimensionales			12
Aplicaciones de la termodinámica		10	
Electricidad			15
El hombre en su medio ambiente		15	
El Asia de los monzones		15	15
La tecnología alternativa en el Reino Unido	10		<i>a</i>
Trabajos prácticos en laboratorio		80	
Ejercicios tridimensionales		30	
Ejercicios de diseño		120	
Trabajos dirigidos por tutor		30	
Seminarios sobre el Asia monzónica		18	
		278	

Trabajos sobre el terreno (estudio regional de tecnología) Una semana durante las vacaciones de verano

*a.* Inconvenientes de la utilización actual de la tecnología; naturaleza y alcance de la TA. Aprovechamiento de los recursos; oferta y demanda de energía; metales y otras materias primas; posibilidades de reducir la demanda y de la reutilización; aportación de energía para la producción de alimentos; fertilización "orgánica"; el reemplazo de proteínas, un factor crítico. La naturaleza del trabajo; métodos alternativos de organizar la sociedad y la industria; cooperativas, sistemas de autoayuda, pequeñas empresas y sus necesidades.

Curso	Número de horas		
	1.er trimestre	2.º trimestre	3.er trimestre
SEGUNDO AÑO			
Transformaciones de la energía I (electricidad)	15		
Transformaciones de la energía II (mecánica y fluidos)		30	
Mediciones e instrumentos	15		
Estructura de materiales	15		
Prospección macroscópica de materiales	15		
Introducción a la ingeniería electrónica		30	
Tecnología industrial		30	
Diseño I			15 <sup>a</sup>
Maquinaria agrícola			30
Organización de la producción	15	10	
El medio ambiente natural	15		
	90	100	45
Trabajos prácticos en laboratorio		75	
Ejercicios de diseño (maquinaria agrícola)		40	
Ejercicios de diseño (diseño mecánico)		40	
Ejercicios (organización de la producción)		40	
		195	
Prácticas en taller	2 semanas después de los exámenes		

*a.* Ajuste al propósito perseguido: encuestas de mercado, especificaciones, análisis de valores, cifras de mérito, diseño “bien acondicionado”, seguridad. Ergonomía: proporciones humanas, comodidad, resistencia, fatiga, controles de equipo, herramientas, presentación de información a los usuarios de máquinas. Ruido: caracterización y métodos de reducción. Gráficos.

Curso	Número de horas		
	1 <sup>er</sup> . trimestre	2. <sup>o</sup> trimestre	3 <sup>er</sup> . trimestre

## TERCER AÑO

*Disciplinas comunes*Ingeniería de recursos<sup>a</sup>

Diseño II

Tecnologías intermedias<sup>b</sup>

Proyecto (individual o en grupo)

*Opciones* (cuatro como mínimo, que incluyan por lo menos dos de la lista A y una de la lista B)

*Lista A*

Termodinámica industrial

Mecánica de fluidos A y C

Transporte

Energía y maquinaria eléctricas

Medición y control de calidad

Ingeniería de los recursos hidráulicos o Vivienda barata y desarrollo

*Lista B*

Estudios comerciales I

Tecnología, industria y sociedad

Producción de alimentos

Idioma extranjero

a. *Análisis de la energía.* Definición de los contornos de un sistema; la energía en la instalación esencial y la energía en la utilización; tablas de entrada y salida de energía; análisis de procesos e índices de eficacia; aplicación de los análisis energéticos; técnicas de reciclado del acero y extracción y distribución de gas. *Abastecimiento de energía.* Consumo y conservación de la energía. Necesidades de energía y técnicas de previsión; costo y abastecimiento de energía, examen crítico de las principales opciones técnicas de abastecimiento de energía a corto y a largo plazo. *Producción de materias primas.* Definición de las reservas; economía de la extracción y la distribución; comercio internacional de materias primas; materias primas ricas en energía; materias primas a granel y agotamiento del terreno; materias naturales (agrícolas) y sintéticas; reciclado de materiales; estudios de casos sobre el cobre, la grava, los fertilizantes, la madera y el agua.

b. Tecnologías tradicionales, sus ventajas y sus inconvenientes; historia de la industrialización en los países en desarrollo y su relación con la urbanización; el sector informal de la economía urbana; limitaciones y defectos de los sistemas de producción tradicionales e industriales; necesidad de una tecnología para el desarrollo rural; características de la tecnología intermedia actual; estudios de casos, por ejemplo, sobre transporte rural y suministro de energía para uso doméstico en el contexto de países particulares, examinando las tecnologías actuales y disponibles, así como las limitaciones sociales y ecológicas.

## Bibliografía y centros de información sobre el desarrollo

### BIBLIOGRAFÍA

#### *Obras generales, teóricas y bibliográficas*

- BOYLE, G.; HARPER, P. *Radical technology*. London, Wilwood House, 1976.
- CONGDON, R. J. (dir. publ.). *Introduction to appropriate technology*. Emmaus, Pa, Rodale Press, 1977.
- DAVIS, J. *Technology for a changing world*. London, Intermediate Technology Publications Ltd, 1978.
- FRENCH, D. *Appropriate technology in social context: an annotated bibliography*. Mt. Rainier, VITA, 1977.
- JENKINS, G. *Non-agricultural choice of technique : an annotated bibliography of empirical studies*. Oxford, the Institute of Commonwealth Studies, 1975.
- JÉQUIER, N. *La technologie appropriée : problèmes et promesses*. Paris, OCDE, 1976.
- LOCKETT, M.; THOMAS, A. *Choosing appropriate technology*, Milton Keynes, Open University (Course T361, units 15-16), 1978.
- PAPANÉK, V. *Design pour un monde réel*. Ecologie humaine et changement social. Mercure (Environnement), 1974. (Traduit de l'anglais.)
- SLATE, F. O. *Low-cost housing of developing countries : an annotated bibliography, 1950-1972*. Ithaca, Cornell University, Program on Policies for Science and Technology in Developing Nations, 1974.

#### *Obras para cursos especializados*

- ALLAL, M.; EDMONDS, C. A. *Manuel sur l'utilisation des techniques à forte intensité de main-d'œuvre dans les travaux routiers*. Genève, OIT, 1977.
- ALWARD, R., et al (dir. publ.). *A handbook of appropriate technology*. Ottawa, Canadian Hunger Foundation, 1976.
- APPROPRIATE TECHNOLOGY DEVELOPMENT ORGANIZATION. *Combined fifth and sixth Biannual Reports, July-December 1976, January-June 1977*. Islamabad, Government of Pakistan, Planning and Development Division (Appropriate Technology), 1977.
- BANQUE MONDIALE. *Considérations écologiques, mésologiques, sanitaires et humaines liées aux projets de développement économique*. Washington, D. C. Banque mondiale, 1974.
- BARWELL, I. J.; HOWE, J. D. G. F. *Guide to tools and equipment for labour-based road construction*. En preparación por Alistair Dick and Associates, en colaboración con l'Intermediate Technology Development Group Ltd, Londres, por cuenta de la Oficina Internacional del Trabajo, Ginebra.
- BHALLA, A. S. (dir. publ.). *Technology and employment in industry*. Genève, OIT, 1975.
- BOYLE, G. *Community technology*. Milton Keynes, Open University, 1978. (Course T361, Units 10-11).
- CIUS-SCOPE. *Evaluation des impacts sur l'environnement*. Canadá, 1977.
- DANCY, H. K. *A manual of building construction*. London, ITDG, 1973.

- DARROW, K.; PAM, R. *Appropriate technology sourcebook*. Volunteers in Asia, 1975.
- EARL, D. E. *Forest energy and economic development*. Oxford, Clarendon Press, 1975.
- EDMONDS, G. A.; HOWE, J. D. G. F. (dir. publ.). *Appropriate road construction in developing countries*. Genève, OIT. (En preparación.)
- FULLERTON, R. L. *Building construction in warm climates*. London, OUP, 1967.
- IRVIN, G. W. *Roads and redistribution*. Genève, OIT, 1975.
- KERN, K. *The owner built home*. Oakhurst, Calif., Ken Kern Drafting, 1972.
- KOENIGSBERGER, O. H.; INGERSOLL, T. G.; MAYHEW, A.; SZOKOLAY, S. V. *Manual of tropical housing and building*. Part One : *Climatic design*. London, Longman, 1974.
- LAL, D. *Men of machines. A study of labour-capital substitution in road construction in the Philippines*. Genève, OIT, 1978.
- MCCULLOGH, J. C. (dir. publ.). *Pedal-Power*. Emmaus, Pa., Rodale Press, 1977.
- MAKHJANI, A. *Energy policy for the rural third world*. London, International Institute for Environment and Development, 1976.
- MANN, H. T.; WILLIAMSON, D. *Water treatment and sanitation. A handbook of simple methods for rural areas in developing countries*. London, ITDG, 1973.
- MATHEWS, W. H. *Resource materials for environmental management and education*. Cambridge et Londres, MIT Press, 1976.
- ODIER, L. *Low cost roads. Design, construction and maintenance*. London, Butterworths, 1967.
- OLGYAY, V. *Design with climate. Bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton, Princeton University Press, 1963.
- PORTOLA INSTITUTE *Energy primer. Solar, water, wind and bio-fuels*. Manlo Park, Calif. Portola Institute, 1974.
- SZOKOLAY, S. V. *Solar energy and building*. London, The Architectural Press, 1975.
- VOLUNTEERS FOR INTERNATIONAL TECHNICAL ASSISTANCE. *Village technology handbook*. Schenectady, N. Y., VITA, 1970.
- WAGNER, E. C.; LANOIX, J. N. *Evacuation des excreta dans les zones rurales et les petites agglomérations*. Genève, OMS, 1960.
- ;—. *Approvisionnement en eau des zones rurales et des petites agglomérations*. Genève, OMS, 1961.

#### Revistas y boletines de información

- Appropriate technology*. Intermediate Technology Publications, 9 King Street, London, WC2E 8HN (Reino Unido).
- Ap-tech*. ATDA, P. O. Box 311, Gandhi Bhawan, Lucknow 226001 (Inde).
- Les nouvelles de l'écodéveloppement*. 54, boulevard Raspail, bureau 309, 75270 Paris Cedex 16 (Francia).
- TAICH news*. TAICH, 200 Park Avenue South, New York, NY 10003 (Estados Unidos de América).
- Tranet*. P. O. Box 567, Rangeley, ME 04790 (Estados Unidos de América).
- VITA news*. VITA, 3706 Rhode Island Avenue, Mt. Rainier, MD 20822 (Estados Unidos de América).

*Tropical science.* TPI, 56/62 Gray's Inn Road, London, WC1X 8LU (Reino Unido).

*IRRI newsletter.* IRRI, P. O. Box 9331, Manila (Filipinas).

CENTROS DE INFORMACIÓN SOBRE EL DESARROLLO

*Canadá*

Brace Research Institute, MacDonald College, McGill University, Ste Anne de Bellevue 800 Quebec.

*Estados Unidos de América*

Volunteers in Technical Assistance (VITA), 3706 Rhode Island Ave., Mt. Rainier, MD 20822.

Tranet (Transnational Network for Appropriate Technologies), P. O. Box 567, Rangeley, Maine 04790.

Technical Assistance Information Clearing House, 290 Park Avenue South, New York, N.Y. 20822.

Volunteers in Asia/Appropriate Technology Project, P. O. Box 4543, Stanford, California 94305.

*Francia*

Groupe de Recherche sur les Techniques Rurales (GRET), 34, Rue Dumont-d'Urville, Paris 75116.

*Filipinas*

International Rice Research Institute, P. O. Box 933 Manila. *Pakistan representative:* Dr. Amir Khan, P. O. Box 1237, Islamabad.

*Ghana*

Technology Consultancy Centre, University of Science and Technology, University Post Office, Kumasi.

*India*

Appropriate Technology Development Association, P. O. Box 311, Gandhi Bhawan, Lucknow 226001.

Cell for the Application of Science and Technology to Rural Areas (ASTRA Cell), c/o Indian Institute of Science, Bangalore 560 012.

All India Khadi and Village Industries Commission (KVIC) Gramodaya, 3 Irla Road, Vile Parle (West) Bombay 400 056.

*Indonesia*

Development Technology Centre, Bandung Institute of Technology, Box 276, Jalan Canesha 10, Bandung.

*Kenya*

Village Technology Unit, c/o UNICEF, Box 44145, Nairobi, (UNICEF Office: Phoenix House, Kenyatta Avenue; Centre at Karen).

*Nigeria*

International Institute of Tropical Agriculture, P.M.B. 5320, Ibadan.

*Países Bajos*

Stichting TOOL (Technische Ontwikkeling Ontwikkelings Laden), Mauritskade 61a, Amsterdam.

Royal Tropical Institute, Mauritskade, Amsterdam.

*Papua-Nueva Guinea*

South Pacific Appropriate Technology Foundation, P. O. Box 6937, Boroko.

*Perú*

Intintec (Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas), 1176 Av. Abancay, apartado 145, Lima 34.

*Reino Unido*

Intermediate Technology Development Group Ltd., 9 King Street, London WC2.  
Tropical Products Institute, 56/62 Gray's Inn Road, London WC1X 8LU.

*Tailandia*

Asian Institute of Technology, P. O. Box 2754, Bangkok

# La ingeniería ambiental en la enseñanza y en la práctica

Hassan M. El-Baroudi, Dev R. Sachdev y Adel Hamouda

## **Introducción**

Los adelantos recientes en el campo relativamente nuevo de la ingeniería ambiental muestran la respuesta de la comunidad tecnológica a una serie de preocupaciones referentes al medio ambiente en los planos nacional y mundial. El propósito del artículo es examinar los aspectos educativos y profesionales de este campo. En base a ese examen y a sus conclusiones se esboza un nuevo enfoque de la ingeniería ambiental. Este enfoque servirá para estimular nuevos debates sobre lo que constituye probablemente la novedad actual más importante en la enseñanza de la ingeniería.

## **Sectores de conocimiento en ingeniería ambiental**

El campo de la ingeniería ambiental se caracteriza por un objetivo consecuente: la protección y el mejoramiento de la calidad del medio en beneficio de la humanidad. Los sectores de conocimiento necesarios están sometidos a una modificación periódica (principalmente expansión) debido a la creciente intensidad y diversidad de las actividades humanas. Los ingenieros civiles y sanitarios fueron los pioneros de la ingeniería ambiental cuando las preocupaciones por la calidad del medio se limitaban a la seguridad del abastecimiento de agua, la evacuación de aguas residuales y el avenamiento del terreno. Los planes de estudios de ingeniería sanitaria introducidos a nivel universitario o postuniversitario, incluían las técnicas relativas a la salud pública y el tratamiento de agua potable y de aguas residuales como materias básicas que debían seguir todos los estudiantes. Hubo que introducir en la mayoría de los programas numerosos temas científicos y tecnológicos conexos, tales como química, microbiología, salud pública, hidráulica, hidrología, etc.

Los esfuerzos realizados esporádicamente para introducir la ingeniería sanitaria como disciplina de nivel universitario no tuvieron éxito. Muchos profesionales y educadores del campo de la ingeniería sostenían que la ingeniería sanitaria era una capacitación profesional más que una disciplina (similar a la de salud pública) y que sólo debía impartirse a nivel postuniversitario.

La introducción de un programa universitario de ingeniería sanitaria en la Universidad de Alejandría (República Árabe de Egipto) en 1949 constituyó una experiencia interesante. El programa abarcaba los dos últimos años escolares y se ofrecía a los estudiantes que cumplieran los requisitos exigidos en los tres años precedentes de ingeniería civil. En esos dos años, cursos tales como tratamiento del agua potable y el agua residual, el abastecimiento de agua y el alcantarillado, la ingeniería de salud pública, la microbiología, la química sanitaria y la bacteriología sanitaria sustituían a los cursos sobre estructuras, construcción de carreteras, ingeniería costera y hormigón armado. El nuevo departamento siguió adoleciendo de falta de estudiantes y de reconocimiento profesional. A pesar del apoyo técnico de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Departamento terminó reduciéndose a una opción secundaria del programa universitario de ingeniería civil.

Tal vez el primer adelanto de la ingeniería sanitaria fue su definición como la parte de la ordenación de los recursos hidráulicos dedicada a la protección de la calidad del agua (el empleo de la palabra “calidad” es significativo). Así lo demostró el profesor F. Pöpel (1965) en el informe de misión que presentó a la OMS. La misión consistió en asesorar sobre las necesidades de enseñanza e investigación en ingeniería sanitaria en la República Árabe de Egipto.

El profesor Pöpel ajustó cuidadosamente sus recomendaciones sobre enseñanza a los problemas locales (por ejemplo, las enfermedades parasitarias, los mosquitos, la escasez de agua) y a las aspiraciones locales (por ejemplo, la recuperación del desierto y la industrialización). Sus principales recomendaciones incluían: “La formación principal en ingeniería sanitaria debería concentrarse de preferencia en los cursos postuniversitarios para ingenieros que tuvieran cierta experiencia práctica en los municipios, los gobiernos locales, los ministerios o los centros de investigación. El plan de estudios universitarios de ingeniería civil debería incluir los cuatro temas siguientes: *a*) Lucha contra la contaminación fluvial; *b*) Abastecimiento de agua; *c*) Evacuación de aguas residuales; *d*) Evacuación de desperdicios y limpieza urbana.”

Impresionado por los problemas de la escasez de agua tanto en una parte de Europa como en Egipto, el profesor Pöpel propuso una lista de las materias principales y secundarias que deberían estudiar los ingenieros sanitarios en cada una de las dos opciones de la ordenación de los recursos hídricos: calidad y cantidad.

En otros países en desarrollo, tales como la India y Paquistán, la enseñanza de la ingeniería ambiental ha seguido un proceso evolutivo guiado por las necesidades nacionales respectivas. En la India, los ingenieros civiles y sanitarios desempeñaron inicialmente el papel tradicional de instalación de sistemas de abastecimiento de agua y evacuación de aguas residuales.

Más tarde, las preocupaciones de la ingeniería sanitaria se incorporaron al campo más amplio de la ingeniería de salud pública. Se asignaron a los ingenieros de salud pública diversas funciones relacionadas con el medio ambiente en los planos local, estatal y central. Por estar la India azotada por varias enfermedades endémicas, se hizo más hincapié en los cursos sobre la lucha contra las enfermedades transmisibles, la microbiología ambiental y la ingeniería antipalúdica. Más recientemente, a medida que la India se va industrializando, nuevas tecnologías de lucha contra la contaminación y de tratamiento de desechos industriales se van añadiendo a los planes de estudio de ingeniería ambiental y salud pública.

Los adelantos revolucionarios de los años sesenta y comienzo de los setenta en el alcance de la ingeniería sanitaria en los Estados Unidos de América fueron acompañados de la adopción generalizada de la expresión más amplia de ingeniería ambiental por las universidades, las sociedades y las revistas técnicas. Mientras que la ingeniería sanitaria se ocupaba del tratamiento del agua, la nueva ingeniería ambiental incluía además la lucha contra la contaminación del aire, el tratamiento de desechos sólidos, la protección radiológica, los nuevos y complejos tratamientos de desechos y se fijaba nuevos objetivos y los fines vagamente definidos de la preservación de medios frágiles y el mantenimiento de equilibrios ecológicos. Para satisfacer esas demandas, los programas universitarios de ingeniería sanitaria o ambiental siguieron ampliando sus planes de estudios y sectores de investigación a fin de formar el grupo interdisciplinario de ingenieros y científicos especializados en el medio ambiente. El notable aumento de interés experimentado recientemente por la ingeniería ambiental puede apreciarse comparando el concepto del "ojo de la cerradura" propuesto en la Conferencia EEIB-AAPSE en 1967 (EEIB, 1973) con los "dominios de la ingeniería ambiental" enunciados en la Conferencia AAEE-AEEP en 1973 (AAEE, 1973)<sup>1</sup>.

En la Conferencia de 1967, los planes de estudios de ingeniería ambiental se representaron por dos círculos concéntricos. Dentro del círculo interior se encontraban la química, la biología, la sociología, los

---

<sup>1</sup> EEIB es el Consejo de las Sociedades de Ingeniería Ambiental; la AAPSE es la Asociación Americana de Profesores de Ingeniería Sanitaria; la AAEE es la Academia Americana de Ingenieros Ambientales y la AEEP es la Asociación de Profesores de Ingeniería Ambiental, o AAPSE antes de un cambio de nombre en 1972.

estudios de sistemas y la planificación en ingeniería. En el círculo exterior se encontraban los recursos hídricos, los recursos atmosféricos, la ingeniería sanitaria y la calidad del agua, la ingeniería de salud pública, la protección radiológica y los desechos sólidos. En la ilustración conceptual de 1973 (Conferencia AAEE-AEEP) había tres círculos en vez de dos. En el círculo interno reservado a los principales campos profesionales, se encontraban la calidad del aire, la calidad del agua, la higiene industrial y los desechos sólidos. En el primer anillo se encontraban los "sectores especializados" de la química, la radiología, la física, la seguridad, la biología y el ruido. Por último en la zona externa dedicada a los "sectores referentes al medio ambiente" figuraba una lista parcial que incluía la salud pública, la pesca, el transporte, los recursos naturales, la construcción, la arquitectura, la economía, la legislación, la planificación, el recreo, los procesos de fabricación, la minería, la energía y la agricultura.

Es evidente que en casi todas partes existen necesidades y aplicaciones de ingeniería ambiental. Se ha calculado que en unas 110 escuelas de ingeniería de los Estados Unidos existen planes de estudios de ingeniería ambiental de nivel universitario para satisfacer las necesidades de enseñanza de esas aplicaciones. Una referencia excelente y sumamente informativa sobre esos programas es el anuario de 1974 patrocinado conjuntamente por la AEEP y la AAEE (Klosky, 1974). El anuario proporciona para cada programa el nombre, la dirección y el número de teléfono del establecimiento, su presidente o persona encargada, una breve historia y la descripción de los requisitos de admisión, los cursos ofrecidos, una lista del profesorado titular y asociado con breves esbozos profesionales y descripciones de los campos de investigación, la cifra de matrícula y los servicios disponibles. De los requisitos de admisión indicados se deduce que un titular del diploma de *Bachelor* en casi cualquier campo de la ingeniería o de la ciencia, con un expediente académico razonable, puede encontrar el programa para el diploma de "master" o doctor que mejor se ajuste a sus intereses profesionales y a su especialización.

#### CALIFICACIONES DEL PROFESORADO

Puede obtenerse una indicación interesante de los sectores del conocimiento relacionados con la ingeniería ambiental en los Estados Unidos considerando las calificaciones del propio profesorado. Estas calificaciones figuraban también en el anuario, que incluía 71 programas, dos de ellos de universidades canadienses. De las 71 universidades incluidas, 65 ofrecían una información completa de los títulos de todos o la mayoría de sus 412 profesores titulares. El cuadro 1 indica la disciplina en la que esos profesores se habían especializado para obtener sus diplomas de

CUADRO 1. Diplomas universitarios de los profesores titulares de ingeniería ambiental (412 en 65 programas)

Disciplina	« Bachelor »		« Master »		Doctor	
	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje
<i>Ingeniería</i>						
Civil	230	55,8	129	31,3	84	20,4
Sanitaria o ambiental	12	2,9	145	35,2	172	41,8
Química	35	8,5	19	4,6	15	3,6
Otra	32	7,8	16	3,9	12	2,9
TOTAL	309	75,0	309	75,0	283	68,7
<i>Ciencias</i>						
Ciencias ambientales	3	0,7	23	5,6	30	7,3
Química	31	7,5	8	1,9	15	3,6
Ciencias de la vida	32	7,8	21	5,1	14	3,4
Otras	19	4,6	14	3,4	19	4,6
TOTAL	85	20,6	66	16,0	78	18,9
<i>No especificada</i>						
<i>Ninguna</i>	18	4,4	13	3,2	12	2,9
	—	—	24	5,8	39	9,5
TOTAL GENERAL	412	100,0	412	100,0	412	100,0

*Bachelor Master y doctor.* Se adopta la siguiente agrupación arbitraria de diversos diplomas:

*Ingeniería civil.* Comprende los diplomas señalados como ingeniería civil y las pocas excepciones que especificaban que el diploma se refería a sectores como estructuras, construcción, hidráulica e hidrología.

*Ingeniería sanitaria o ambiental.* Comprende diplomas titulados recursos hídricos, higiene, higiene industrial, saneamiento, ingeniería ambiental de sistemas, ingeniería ambiental, pública, laboral e industrial y protección radiológica.

*Otras ingenierías.* Incluyen la ingeniería mecánica, eléctrica y del petróleo, la ciencia de la ingeniería y las ingenierías agrícola, geológica, minera, de riegos, industrial, del suelo y de sistemas.

*Ciencias ambientales.* Comprenden también la ciencia sanitaria, la ciencia del agua, la química, la limnología, higiene del medio ambiente, la química sanitaria, la ecología general y la ecología microbiana, la química ambiental, la hidrobiología, la química atmosférica, la microbiología ambiental, la química y la biología sanitarias y la biología radiológica.

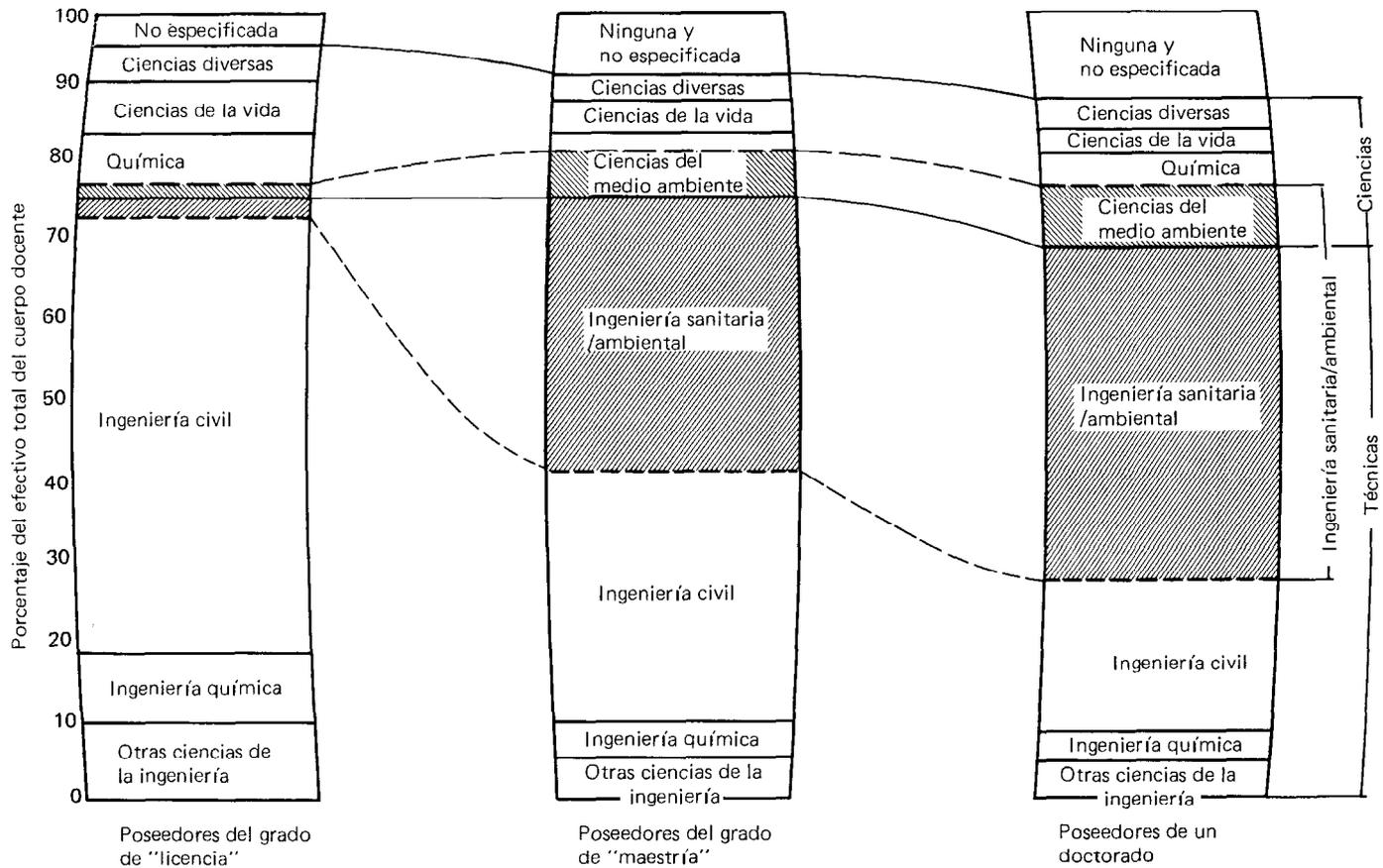


FIG. 1. Distribución de las disciplinas estudiadas por los profesores encargados de los cursos principales de ingeniería ambiental (412 repartidos en 65 programas).

*Química.* Incluye también la bioquímica, la geoquímica y las siguientes ramas de la química: orgánica, agrícola, alimentaria, nuclear, física y analítica.

*Ciencias de la vida.* Incluyen la bacteriología, la biología, la microbiología, la zoología, la botánica, la medicina, la fitopatología, la biofísica, la fisiología vegetal, la medicina veterinaria, la micología y la biología veterinaria.

*Otras ciencias.* Incluyen la física, la física nuclear, las matemáticas, la geología, la física del suelo, la meteorología, la oceanografía, la bromatología, la ciencia naval, la ciencia militar, la informática y ciertas ciencias sociales como la economía, la administración de empresas, la planificación urbana, la sociología y la economía agrícola.

Esta diversidad del profesorado es el resultado de los esfuerzos dedicados a impartir a los estudiantes los conocimientos necesarios para preservar la calidad del medio ambiente. De la lista precedente y de la distribución representada en la figura 1 puede deducirse que la ingeniería ambiental es el campo de la ingeniería interdisciplinario por excelencia. Los profesionales que más están contribuyendo en ese campo son los ingenieros civiles. Por último, sólo el 3,6 por ciento del profesorado total posee una formación universitaria orientada hacia el medio ambiente en ingeniería o en ciencias. Esto es debido a que los cursos sobre el medio ambiente se han impartido principalmente hasta ahora a nivel postuniversitario.

#### CONTENIDO DE LOS PROGRAMAS

Teniendo en cuenta la distribución de las disciplinas entre el profesorado de ingeniería ambiental se puede afirmar que el campo del conocimiento de la ingeniería ambiental está formado como sigue: ingeniería ambiental (sanitaria), 40 por ciento; otras ingenierías, 30 por ciento; ciencias ambientales, 10 por ciento; ciencias básicas, 5 por ciento; ciencias sociales, 5 por ciento; opciones individuales, 10 por ciento.

Si la formación en ingeniería ambiental sólo se ofrece a nivel universitario (diploma de *Master*), puede suponerse que un ingeniero inscrito en el programa ha aprobado ya el 30 por ciento de las otras ingenierías y el 5 por ciento de las ciencias básicas. En consecuencia, el programa universitario de un año sobre ingeniería ambiental puede tener la siguiente distribución: ingeniería ambiental, 60 por ciento; ciencias ambientales, 15 por ciento; ciencias sociales, 10 por ciento; opciones individuales 15 por ciento.

Estas distribuciones parecen generalmente aceptables y razonablemente equilibras. Puesto que se basan en las calificaciones del profesorado, los autores intentaron identificar las tendencias futuras mediante el análisis estadístico de las fechas en que se diplomaron los profesores.

Una de las conclusiones importantes es que los profesores con diplomas de «ciencias del medio ambiente» constituyen con gran diferencia el grupo más joven. Estas ciencias se centran en la vigilancia y el conocimiento de los fenómenos químicos, físicos y biológicos que tienen lugar en los ecosistemas naturales y contaminados, con el objetivo final de preservar los equilibrios biológicos y la calidad del medio ambiente deseada. En consecuencia, se prevé que la importancia de las ciencias del medio ambiente seguirá aumentando en la enseñanza y en la práctica del sector de la ingeniería ambiental.

### **La práctica de la ingeniería ambiental**

Cuando se reconoció la necesidad de un abastecimiento de agua potable y de la evacuación de aguas residuales, los ingenieros sanitarios tuvieron un mercado estable con clientes seguros. Los miembros de los equipos de ingeniería sanitaria y de salud pública eran autodidactas o habían adquirido una formación adicional en el número cada vez mayor de programas postuniversitarios y escuelas de salud pública. En el caso de la ingeniería sanitaria, la aplicación de los sectores específicos del conocimiento estaba estrechamente asociada a la construcción de ingeniería civil, la hidráulica, la mecánica de suelos y la topografía, y dependía de ellas. Su objetivo correspondía también a la filosofía de servicio público, que ha distinguido a la profesión de ingeniero civil durante toda su historia.

Tanto en la práctica profesional, como en la enseñanza, la ingeniería civil puede definirse a grandes rasgos en el contexto de necesidades y cambios históricos. Puede suponerse que la ingeniería sanitaria se desarrolló en respuesta a dos preocupaciones superpuestas en parte pero distinguibles. La primera fue la salud del ser humano y la segunda la calidad del medio ambiente. A medida que las actividades humanas de urbanización e industrialización siguieron aumentando, los sencillos aspectos de la salud relacionados con el agua de los que se ocupaba la ingeniería sanitaria crecieron también y se convirtieron en la ingeniería de salud pública. La reciente intensificación de las actividades industriales y urbanas ha producido la transformación de los aspectos de la ingeniería sanitaria relativos al medio en lo que ahora se llama ingeniería ambiental. La figura 2 ilustra esta evolución.

#### CLIENTES DEL INGENIERO AMBIENTAL

Una necesidad puede existir sin ser satisfecha, pero una demanda debe tener una forma oficial. Como en el caso de la ingeniería de salud pública, la demanda de ingeniería ambiental procede directa o indirecta-

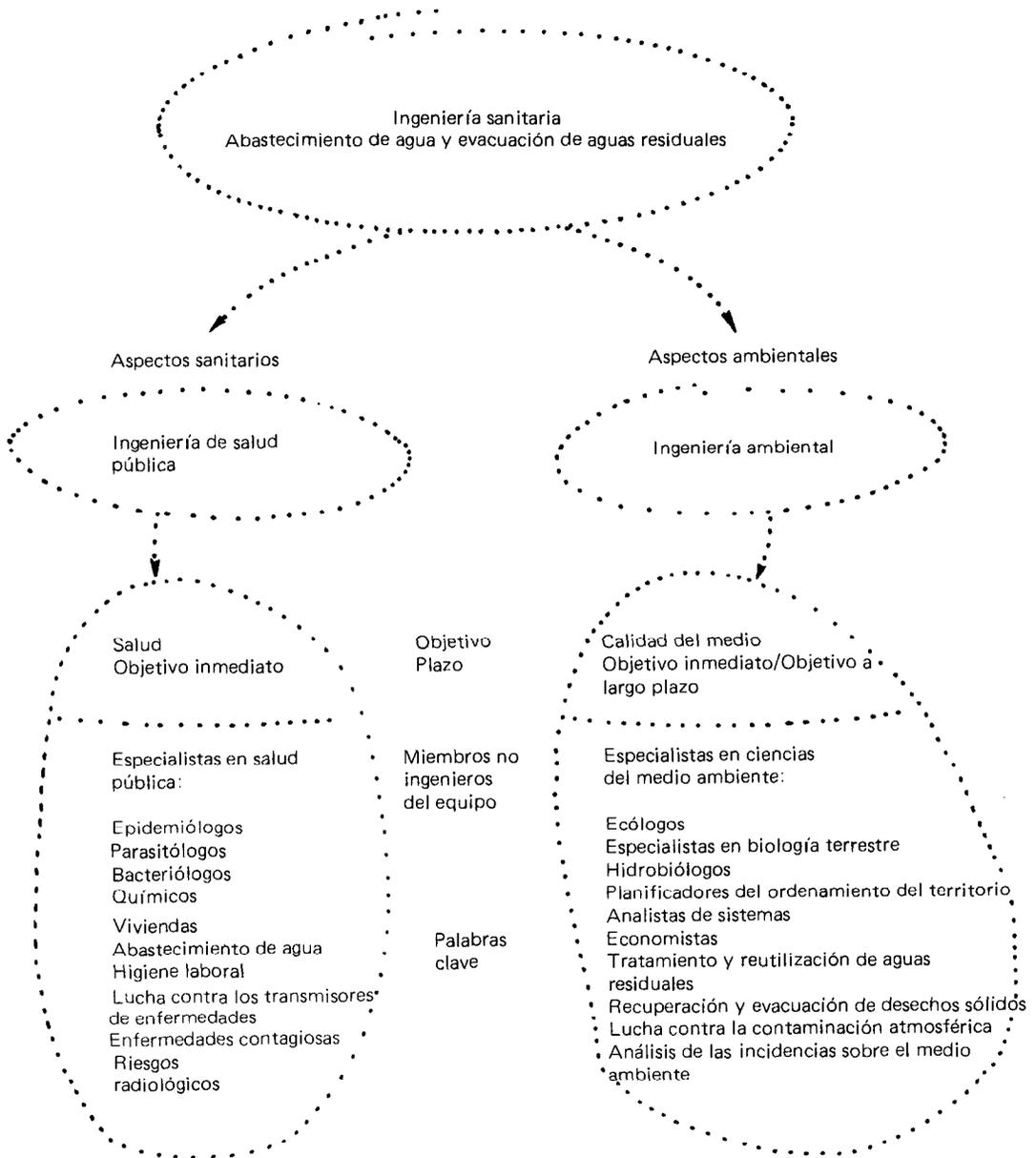


FIG. 2. Evolución del campo de la ingeniería sanitaria.

mente del gobierno (Oakley, 1978). Los estudios recientes demuestran que en los Estados Unidos harán falta muchos ingenieros especializados en medio ambiente en la industria, en todos los niveles del gobierno y en las firmas consultivas (Middlebrooks, 1975; Middlebrooks, Kolb and Ettlstein, 1974). Aunque las proyecciones indican una necesidad máxima en la industria y en las firmas consultivas, dan por supuestas la continuación del apoyo gubernamental y la aplicación de la legislación estatal y federal pertinente. Esta última incluye la Ley de evacuación de desechos sólidos de 1965 y sus modificaciones de 1970 y 1976, la Ley nacional de política sobre el medio ambiente de 1969, la Ley del aire limpio de 1970 y sus modificaciones de 1977, la Ley de mejoramiento de la calidad del agua de 1970 y sus modificaciones de 1972 y 1977, la Ley de lucha contra los plaguicidas de 1972, la Ley de protección, investigación y santuarios marinos de 1972 y sus modificaciones de 1977, la Ley de lucha contra las sustancias tóxicas de 1972 y la Ley relativa a la calidad del agua potable de 1974.

La aplicación de los objetivos y las estipulaciones de esas leyes exigirán un gasto de miles de millones de dólares por parte del gobierno y de la industria durante los próximos años. Como ejemplos de esas exigencias cabe citar la elevación de todas las instalaciones municipales de tratamiento de aguas residuales hasta el nivel secundario, la sustitución del vertido oceánico de cienos por sistemas terrestres de tratamiento, recuperación y evacuación, la introducción de secciones adicionales en las instalaciones de tratamiento de agua potable y aguas residuales para la eliminación de contaminantes orgánicos e inorgánicos sobre los que se han establecido nuevas normas, la vigilancia extensiva de los ríos en los que se vierten desechos y de sus alrededores y así sucesivamente. Estas actividades ofrecerán muchas posibilidades a los ingenieros y los científicos especializados en el medio ambiente tanto en el gobierno como en la industria. Sin embargo, las fuerzas propulsoras de esta necesidad son los cuerpos legislativos nacionales y locales que se esfuerzan en mantener una cierta calidad del medio ambiente dentro del marco total de los objetivos económicos, sociales y de defensa nacional aceptado por los ciudadanos.

#### FUNCIONES PROFESIONALES DEL INGENIERO ESPECIALIZADO EN EL MEDIO AMBIENTE

Para aplicar las leyes y los reglamentos nacionales y locales relativos a la protección del medio ambiente es necesaria la cooperación de un equipo interdisciplinario de profesionales y técnicos. Otras profesiones distintas de la ingeniería también han coronado a sus miembros con el prefijo «ambiental». Como resultado de ello, además del ingeniero, tenemos ahora el científico, el planificador, el biólogo, el químico y... el

economista especializados en el medio ambiente. La misma distinción se adoptó cuando se formó el equipo interdisciplinario de ingenieros, médicos, enfermeras, etc. en el campo de la salud pública. El alcance de la labor de los miembros del equipo de salud pública tenía límites visibles en el tiempo y en el espacio fácilmente comprensibles y apreciados por todos, que correspondían a las actividades humanas en el hogar, el lugar de trabajo, la plaza del mercado y los centros de recreo. El esfuerzo de salud pública se reflejaba de una manera fiel e inmediata en el mejoramiento de la salud, la comodidad y la estética.

En el caso de los equipos especializados en el medio ambiente recientemente formados, el alcance de su trabajo puede ser efectivamente muy amplio en el espacio y en el tiempo. Los problemas del medio ambiente se extienden desde la profundidad del océano hasta el agotamiento de la capa de ozono en la alta atmósfera. Los hábitats amenazados de la vida silvestre están creando preocupaciones sobre posibles efectos en el medio ambiente que podrían revelarse en un plazo sumamente largo incluso bajo formas desconocidas hasta hoy. Salvar la “nave espacial Tierra” de la destrucción de sus frágiles ecosistemas es el objetivo final de los científicos, los ingenieros, los legisladores y otras personas competentes.

Por la naturaleza misma de la profesión de la ingeniería, el ingeniero del medio ambiente sólo puede ser un miembro viable del equipo en la fase de preparación y aplicación de un plan de trabajo de alcance claramente definido. A continuación se dan ejemplos de esta labor realizada en los Estados Unidos en parte de acuerdo con las leyes sobre el medio ambiente: estudios de emplazamientos; análisis del efecto sobre el medio ambiente; estudios sobre tratamiento de aguas potables y residuales; técnicas de recuperación de desechos y recursos sólidos; lucha contra la contaminación del aire.

*Estudios de emplazamientos.* En estas investigaciones, el ingeniero del medio ambiente es un miembro ideal del equipo. Este puede incluir, cuando proceda, planificadores de la utilización del terreno, geólogos, ingenieros civiles, sociólogos, economistas y otros especialistas, así como los ingenieros encargados de la ejecución del proyecto. En la región estudiada se hace primero una lista de los emplazamientos o zonas potenciales normalmente en función de la viabilidad económica general. Mediante un análisis más detenido de los datos publicados sobre emplazamientos y de los factores micropolíticos, unido a la aplicación de criterios de exclusión, evitación y preferencia pueden eliminarse algunos emplazamientos potenciales. Los lugares restantes, llamados emplazamientos candidatos, se someten ulteriormente a una investigación detallada para elegir finalmente el sitio preferido. El proceso de elección del emplazamiento puede incluir las siguientes etapas:

1. *Resumen del proyecto.* Terreno necesario; materias primas y productos terminados (cuando los haya); efluentes residuales (desechos sólidos, líquidos y gaseosos), su calidad y velocidad de producción; criterios aplicables a los efluentes y normas de calidad del agua y del aire; necesidad de autorizaciones federales, estatales y locales.
2. *Acopio de datos específicos sobre el emplazamiento,* características del suelo incluidas la geología y la hidrología; calidad y cantidad de agua para satisfacer las necesidades del proyecto; calidad del aire circundante; ordenanzas sobre zonas y utilización del terreno; carreteras y ferrocarriles de acceso.
3. *Efecto del proyecto sobre el medio ambiente,* recursos atmosféricos; recursos hídricos; ecología terrestre; usos del terreno; socioeconomía.
4. Estimación de costos. Estimación de costos aproximados para cada emplazamiento candidato.
5. *Análisis de posición.* Sobre la base de la información reunida en las etapas 1 a 4, se establecen criterios para el análisis de posición, con arreglo a cuyos resultados se elige el emplazamiento más adecuado.

*Análisis del efecto sobre el medio ambiente.* Hasta hace poco, las consecuencias sobre el medio ambiente no se percibían o se ignoraban al tomar decisiones sobre el emplazamiento de una industria o el establecimiento de un servicio público o privado. El mayor hincapié solía hacerse típicamente en la evaluación económica y en los estudios de viabilidad técnica. Así sucede todavía en muchos países. Sin embargo, en los países donde la legislación o los clientes exigen nuevos procedimientos han tenido que aplicarse criterios relativos al medio ambiente junto con los tradicionales criterios económicos, sociales y tecnológicos.

El «análisis del efecto sobre el medio ambiente» es el estudio de los cambios probables que puede producir un proyecto propuesto sobre el medio ambiente. La preparación de una «declaración referente al efecto sobre el medio ambiente» (DEA) de un proyecto propuesto es un esfuerzo interdisciplinario cooperativo realizado por ingenieros del medio ambiente, biólogos, ecólogos, químicos, sociólogos, economistas, planificadores, arquitectos y cualquier otro especialista cuyos conocimientos sean pertinentes.

Dicha declaración es un documento que revela y examina de un modo completo todos los efectos importantes sobre la calidad del medio ambiente humano. Este documento se distribuye normalmente a todos los organismos, ciudadanos y organizaciones que podrían resultar afectados. Debe estimularse la participación del público mediante debates abiertos y, en general deben preverse modificaciones para satisfacer las preocupaciones del público.

Un estudio del efecto sobre el medio ambiente abarca por lo general los siguientes puntos: a) descripción del proyecto propuesto; b) relación

del proyecto propuesto con los planes y políticas de utilización del terreno y otros reglamentos de la zona afectada; c) efecto probable del proyecto sobre el medio local, tanto los efectos a corto como a largo plazo, en particular los efectos sobre los recursos hídricos, los recursos atmosféricos, la utilización del terreno, la ecología terrestre y la infraestructura social y económica; d) efectos adversos sobre el medio ambiente que pueden evitarse; e) alternativas al proyecto y a sus efectos; f) inversión permanente de recursos en el proyecto; g) medidas correctivas que se proponen para reducir al mínimo los efectos adversos sobre el medio ambiente; h) consecuencias secundarias o indirectas que pueden ser desencadenadas por los efectos primarios, tales como las migraciones de población debidas al incremento de las posibilidades de empleo que a su vez aumentará la presión sobre los servicios locales, entre ellos el abastecimiento de agua, las escuelas, la protección contra incendios, la protección ciudadana y otras actividades sociales y económicas.

*Estudios sobre tratamiento de aguas potables y residuales.* Los estudios sobre tratamiento de aguas potables y residuales tienen por objeto encontrar un sistema óptimo de abastecimiento de agua, de utilización y reutilización del agua y de tratamiento y evacuación de aguas residuales. El agua tratada debe reunir las exigencias de calidad y cantidad impuestas por el uso al que se destina. El agua residual tratada en la instalación debe respetar los criterios relativos a los efluentes y las normas de calidad del agua receptora. Por consiguiente, en ambos casos el tratamiento está relacionado con las necesidades de calidad y no con normas absolutas que pueden ser innecesariamente costosas.

El ingeniero del medio ambiente desempeña el papel principal en esos estudios y pide ayuda cuando es necesario a los ingenieros mecánico, industrial y de procesos, que poseen experiencia especializada en las diversas operaciones y procesos unitarios del proyecto. Los estudios incluirán probablemente las siguientes tareas:

1. Preparación de diagramas de flujo de masa relativos al consumo de agua y la producción de aguas residuales. Debe identificarse todo sistema que consuma agua o produzca aguas residuales. Se determinarán las cantidades media, máxima y mínima de agua potable y agua residual.
2. Identificación de los sistemas de tratamiento necesarios para producir efluentes que se ajusten a los criterios aplicables a los efluentes y a la calidad del agua. Estudio de otros principios de tratamiento con inclusión de las posibilidades de reutilización o reducción de desechos mezclando dos o más caudales residuales que neutralicen algunos contaminantes.
3. Elección del sistema de tratamiento más eficaz desde el punto de vista del costo y aceptable desde el punto de vista ambiental. Deter-

minación de los costos de capital, funcionamiento y mantenimiento de cada solución posible. Al hacer la elección se tendrán en cuenta también la fiabilidad del sistema y su adaptabilidad a las variaciones en las características del caudal afluente.

*Tecnología de la recuperación de desechos y recursos sólidos.* Los aspectos tecnológicos tradicionales del tratamiento de desechos sólidos son la determinación de cantidades, la composición y los métodos de almacenamiento en origen, la concepción de sistemas de recogida y tratamiento y la evacuación final en el terreno con reducción o sin reducción de volumen por varios medios.

Las ordenanzas de salud pública y las exigencias del medio ambiente pueden regular todas las etapas del tratamiento de residuos sólidos. En muchos países se han adoptado por razones económicas varios procedimientos de recuperación de materia y energía a partir de residuos sólidos. Como ejemplos de esas operaciones de recuperación cabe citar la separación y recuperación en la fuente, la transformación de desechos orgánicos en abono, el rebatido de papel desechado, la producción de gas combustible por digestión anaerobia y la recuperación del calor de combustión en incineradores de desechos.

Hasta hace poco no existían actividades importantes de recuperación en los Estados Unidos, aunque esas operaciones se aplicaban con éxito en Europa, Japón, la India y otros lugares. Varios factores han provocado la aparición de la nueva tecnología de recuperación de recursos en la última década. Cabe citar entre ellos el vertiginoso aumento de los costos de la energía, la rigurosa reglamentación que rige la evacuación final y la aparición de un nuevo sentido de la conservación y de la ética del medio ambiente que desaprueba el despilfarro de recursos por razones generales. La recuperación de recursos se está extendiendo en los Estados Unidos en forma de servicios centrales para la trituración, la separación de desechos sólidos y su transformación por diversos procedimientos.

La ampliación del objetivo del tratamiento de los desechos sólidos desde la evacuación inocua hasta la recuperación de energía y de materia está resultando un problema sumamente complejo desde los puntos de vista técnico e institucional. Se admite en general que la aplicación de tecnologías complejas requiere la participación de industrias privadas en su funcionamiento o su propiedad. La aplicación de las tecnologías de recuperación exige considerables inversiones que se financian a base de contratos con los productores de desechos y con los compradores de la energía y las materias recuperadas. En tales actividades, el ingeniero del medio ambiente es un miembro de un gran equipo formado por otros ingenieros, planificadores, agentes de inversiones, economistas, abogados, políticos, analistas de mercado y administradores de contratos. La

función del ingeniero del medio ambiente se percibe sobre todo en la ejecución de encuestas sobre desechos sólidos, la preparación y evaluación de distintas posibilidades de recogida, transporte, recuperación y evacuación y la elección del sistema teóricamente más eficaz en proporción al costo.

*Lucha contra la contaminación del aire.* Varios procesos industriales, centrales generadoras de electricidad e incineradores de desechos sólidos o cienes residuales municipales emiten contaminantes tales como partículas en suspensión, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y otras sustancias gaseosas según los componentes de las materias primas del proceso. Los reglamentos federales, estatales o locales sobre el control de la calidad del aire estipulan las concentraciones admisibles de contaminantes en las emisiones gaseosas. Tales criterios se establecen para proteger la salud y el bienestar públicos y tienen en cuenta el mantenimiento de una calidad deseable del aire ambiente.

El ingeniero del medio ambiente desempeña un papel primordial en la lucha contra la contaminación del aire y pide ayuda a otros especialistas tales como los químicos y los ingenieros industriales y químicos para ejecutar las siguientes tareas: *a)* identificar los contaminantes y su concentración en las emisiones; *b)* evaluar el efecto de esos contaminantes; *c)* evaluar diferentes técnicas de control y recomendar la más eficaz en función de su costo y la más aceptable desde el punto de vista ambiental.

### **Organización funcional propuesta**

Una vez examinadas las experiencias y las características de la enseñanza y la práctica de la ingeniería ambiental ha llegado el momento de proponer directrices para el futuro. Ya se ha indicado que en este campo se han producido recientemente rápidos adelantos en respuesta a la crisis de la contaminación del medio ambiente. Se han hecho considerables progresos en poco tiempo, pero hace falta una base para planificar futuros adelantos. El plan propuesto se basa en tres hipótesis:

1. La labor del ingeniero del medio ambiente se desarrolla en asociación con otros ingenieros y como consecuencia de la labor de éstos. La preocupación primordial del ingeniero ambiental consiste en armonizar los objetivos humanos conflictivos de bienestar y progreso conservando al mismo tiempo los recursos y la calidad del medio.
2. Los problemas del medio ambiente varían en el tiempo y en el espacio. En consecuencia, se propone que la labor del ingeniero del medio ambiente esté orientada hacia el cliente más que hacia un problema concreto, por ejemplo, la contaminación del aire, los desechos sólidos y así sucesivamente.

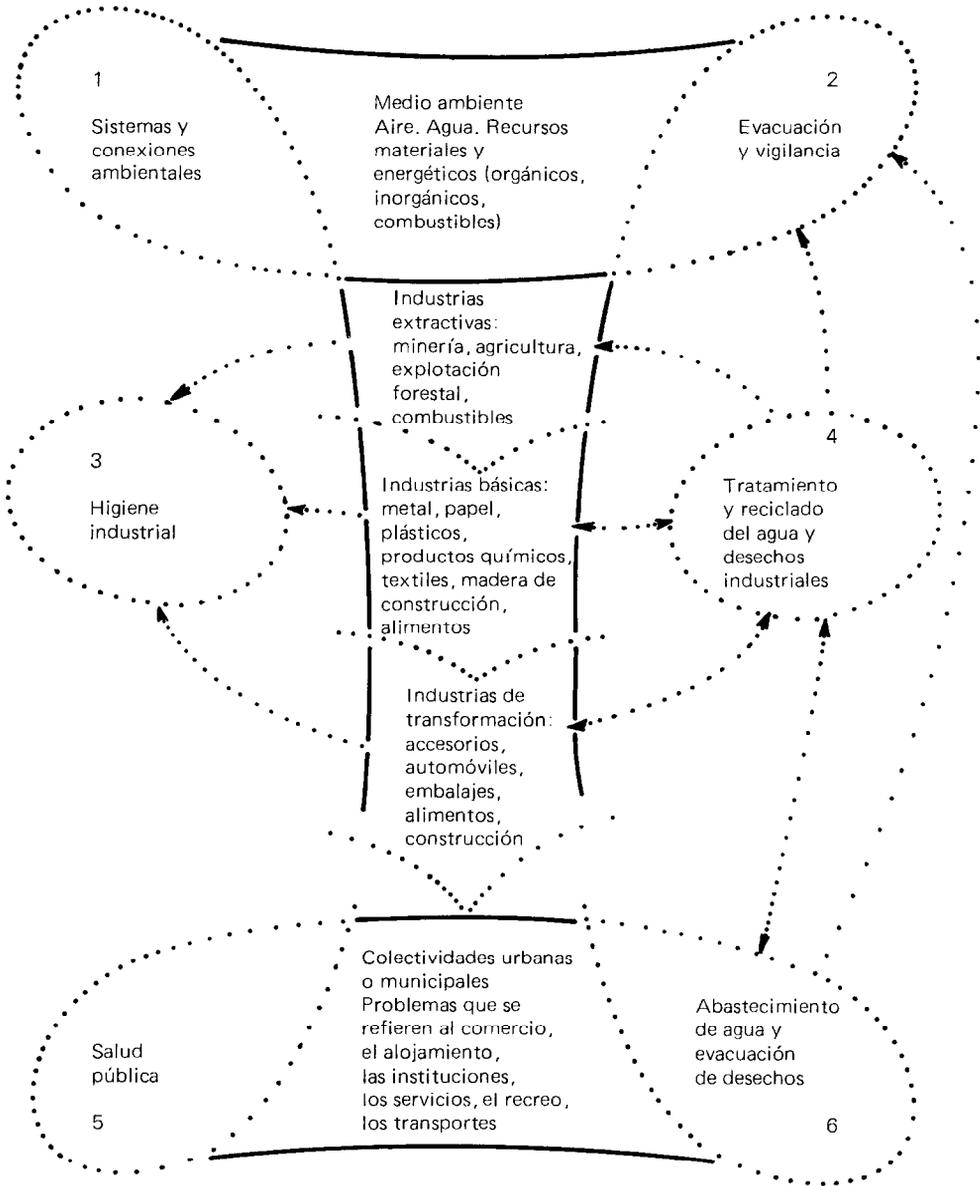


FIG. 3. Problemas que se plantean a la ingeniería ambiental en el contexto de las actividades humanas.

3. La educación y la experiencia del ingeniero del medio ambiente debe reflejar también las responsabilidades y los intereses de los posibles clientes. Únicamente si los conocimientos de ingeniería ambiental se ajustan a las necesidades de los subgrupos de clientes podrán establecer los ingenieros la estrecha comprensión y confianza mutuas que ofrecen la base de toda buena práctica profesional.

La figura 3 expresa esta proposición y refleja esas hipótesis. En la periferia del diagrama hay seis campos del conocimiento técnico. Los dos primeros se refieren a la investigación, la vigilancia y la previsión. Las disciplinas pertinentes son una serie de ciencias puras y aplicadas que, reunidas para los fines de la enseñanza y la formación profesionales, podemos llamar ciencia de la ingeniería ambiental o simplemente ciencias del medio ambiente.

Las industrias situadas en el centro del diagrama se han dividido en las tres etapas de extractivas, básicas y de transformación. Directamente relacionadas con ellas y a su servicio están los sectores de la higiene industrial (que protege al trabajador dentro de la industria) y el tratamiento de desechos y agua (que protege y sirve al ciudadano fuera de la industria). Esos sectores se dominan ingeniería ambiental industrial.

En la base del diagrama se encuentran las comunidades urbanas o municipales, tanto grandes como paqueñas. Las preocupaciones son aquí el abastecimiento de agua y la evacuación de desechos, junto con los problemas generales de salud pública en los que intervienen el ingeniero del medio ambiente y sus colegas de otras profesiones. Llamaremos ingeniería ambiental municipal a estos dos sectores del conocimiento técnico.

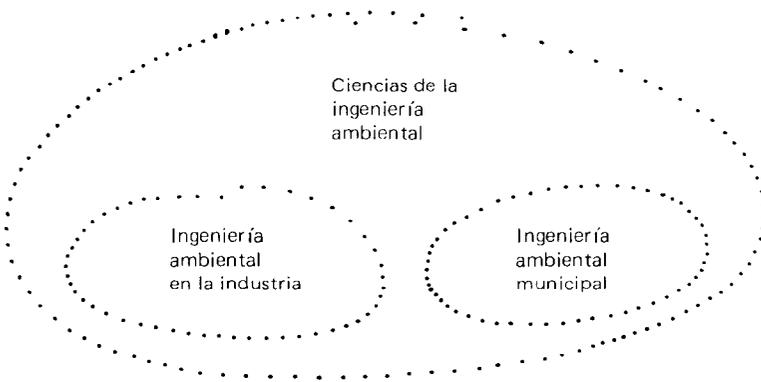


FIG. 4. Los tres dominios propuestos de la ingeniería ambiental.

CUADRO 2. Propuesta de reorganización del campo de la ingeniería ambiental

	Dominios de la ingeniería ambiental		
	Ciencias de la ingeniería ambiental	Ingeniería ambiental en la industria	Ingeniería ambiental municipal
Conocimientos de base del alumno	Ciencias	Ingeniería química	Ingeniería civil
Afiliación departamental	Departamento de ciencias, departamento de ingeniería o centro interdisciplinario	Departamento de ingeniería química	Departamento de ingeniería civil
Diploma ofrecido	<i>Bachelor, Master, Doctor</i>	<i>Master, Doctor</i>	<i>Master, Doctor</i>
Preparación común	Biología del medio ambiente (ecología). Explotación y utilización de recursos. Parámetros de calidad del medio. Análisis del efecto sobre el medio ambiente		
Competencias principales	Efectos biológicos de la contaminación Aspectos administrativos de la lucha contra la contaminación Aspectos analíticos de la lucha contra la contaminación Preparación de modelos de ecosistemas	Higiene industrial Lucha contra la contaminación industrial Tecnología de la recuperación de recursos Tratamiento del agua para la industria	Ingeniería de salud pública Tratamiento y evacuación del agua Evacuación de desperdicios municipales Lucha contra la contaminación del aire
Empleador principal	Gobiernos federales y estatales más firmas consultivas	Industrias, organismos de consultación	Gobiernos estatales y locales, organismos de consultación

No es necesario subrayar en qué medida se superponen esas diversas preocupaciones de la ingeniería ambiental. Las flechas del diagrama indican algunas de esas repercusiones y la importancia de una formación amplia y una intercomunicación eficaz durante toda la vida profesional.

La figura 4 pone de relieve la estructura profesional derivada de la figura 3. La importancia de la ciencia de la ingeniería industrial es que no sólo funciona directamente, abordando los problemas ambientales con un alto nivel de generalidad, sino que proporciona además la matriz del conocimiento aplicado en cada uno de los otros dos sectores.

El cuadro 2 desarrolla el concepto de los tres sectores con más detalle. Todavía más importante es que deduce la preparación universitaria para esos dominios en lo que se refiere a los estudios comunes, la afiliación departamental y los sectores del conocimiento en los que adquirirán capacidad técnica primaria los respectivos especialistas. Además, como reflejo de la orientación hacia el cliente, pone en relación cada dominio con los grupos de empleadores cuyos intereses pretende servir.

Es posible que la reorganización propuesta en este estudio se ponga oficialmente en práctica, como medida deliberada, en un país u otro, por iniciativa del gobierno o de los órganos profesionales. Hay que reconocer que en muchos países, una intervención de este tipo no es legalmente factible o se sale de la tradición administrativa. Tal vez se estén produciendo algunos cambios, aquí o allá, porque los grupos profesionales, como todos los organismos, están sujetos a los imperativos de la evolución, la adaptación y la supervivencia. En todo caso, el reconocimiento de la mutación conceptual facilita el proceso del cambio. Si este artículo ha contribuido en cierta medida a una autoevaluación de la profesión de la ingeniería ambiental y a un reconocimiento de su destino, se habrá conseguido el propósito de los autores.

## Referencias

- AMERICAN ACADEMY OF ENVIRONMENTAL ENGINEERS (AAEE) y ASSOCIATION OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING PROFESSOR (AEEP), 1973, *Proceedings of the Third National Environmental Engineering Conference*. Drexel University, Philadelphia, Pennsylvania.
- ENVIRONMENTAL ENGINEERING INTERSOCIETY BOARD (EEIB) y AMERICAN ASSOCIATION OF PROFESSORS IN SANITARY ENGINEERING (AAPSE), 1967, *Report on the Second National Conference on Environmental and Sanitary Engineering Graduate Education*. Northwestern University, Evanston, Illinois.
- K LOSKY, Jane C., (dir. de la publ.), 1974, *Register of Environmental Engineering Graduate Programs*, Bajo el patrocinio de la Association of Environmental Engineering Professors and American Academy of Environmental Engineers. (Subvencionada por le U.S. Environmental Protection Agency).
- MIDDLEBROOKS, E. J., 1975 *An evaluation of environmental engineering education*. Informe preparado por el Register Committee of the Association of Environmental Engineering Professors, and American Academy of Environmental Engineers.
- KOLB, L. P.; ETTTELSTEIN, M. S., Manpower needs in environmental engineering, *Engineering education*, vol. 65, 3.
- OAKLEY, Stewart M. 1978, Managing the Environment: who's in charge? Engineering Issues, *Journal of Professional Activities: Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, vol. 104, EI 4.

POPEL, F. W., 1965. *Assignment report. Assistance to the Sanitary Engineering Research Centre of the University of Alexandria, to the Ministry of Housing and Public Utilities, and to the Ministry of Scientific Research.* W. H. O. Report No. EM/ES/69 Egypt – 38/TA.

# La organización del proceso: algunas nociones y modelos

David Brancher

## Introducción

Es bastante común que los educadores dividan sus descripciones y evaluaciones de la educación en “contenido” y “proceso”. Suele considerarse que el “contenido” es el cuerpo de conocimientos y aptitudes que deben adquirir los estudiantes. Por “proceso” se entienden generalmente las actividades en virtud de las cuales los estudiantes comprenden, asimilan y aplican esos conocimientos y aptitudes, sea por obligación o por una motivación innata.

Tampoco es raro encontrar profesores en la enseñanza superior que prestan más atención al contenido que al proceso. Si utilizan el inglés, esto se refleja en su elección de las palabras. En vez de referirse al contenido con la palabra “syllabus” (que procede del griego antiguo a través del latín moderno y significa una lista de encabezamientos), algunos profesores utilizan la palabra “curriculum”. Sin embargo, curriculum (derivado indirectamente de una palabra latina que significa correr) se utiliza propiamente para describir la actividad y el esfuerzo, el proceso, mediante el cual el “syllabus” es percibido por el estudiante. Esta distinción es crucial y la tendencia de los profesores a dignificar el “syllabus” (o contenido) con el dinamismo del “curriculum” (o proceso) ha esterilizado numerosos debates sobre la preparación de planes de estudios.

La idea de que es más importante cultivar el proceso que transferir el contenido es probablemente tan antigua como Sócrates. Esa idea significa que los frutos de la investigación realizada por otros son a veces menos valiosos que la capacidad para investigar por uno mismo; que el aprendizaje activo es preferible al aprendizaje pasivo porque forma hábitos, no depende de la enseñanza formal y, en consecuencia, puede proseguirse durante toda la vida de un modo autodidáctico. Sin embargo, aunque muchos educadores reconocen verbalmente la importancia del proceso, siguen propugnando y describiendo cursos basados

exclusivamente en listas de los conocimientos que poseen los profesores.

Esta crítica, por trillada que pueda estar, sirve para iluminar un problema de organización universitaria, pues en la medida en que los profesores consideren el “currículum” como poco más que una lista de conocimientos, considerarán la organización universitaria como poco más que la compilación de una lista de las personas que poseen esos conocimientos. Huelga decir que los fondos pueden no permitir el reclutamiento inmediato de cada miembro, pero cuando uno de ellos llega se espera que deje caer su moneda en la ranura prevista en el gran proyecto. ¡Clic!

Tal vez no es sorprendente que un enfoque tan formalista pueda encontrarse a veces entre las escuelas de ingeniería y a que aparece tan frecuentemente en las universidades. En todo caso, entre todos los campos de la enseñanza superior, donde causa más daño es en la educación sobre el medio ambiente. Hay para ello cuatro razones: *a*) la formación sobre el medio ambiente afecta a gran variedad de disciplinas; *b*) hace falta un alto grado de integración antes de que los conocimientos y las aptitudes adquiridas en esas disciplinas puedan aplicarse útilmente; *c*) es necesario que esa integración sea dinámica y creadora a medida que surgen nuevos conocimientos e ideas de las fuentes especializadas y que aparecen en el mundo real nuevos problemas ambientales y nuevas posibilidades de intervenir *d*) muchos estudiantes e incluso profesores se resisten, sin embargo, a dedicarse a disciplinas que perciben como extrañas.

#### EL “CURRICULUM” OCULTO

Examinaremos el último punto con más detenimiento. Podemos esperar que haya algunas diferencias, en cuestiones de motivación, entre los estudiantes graduados que siguen cursos de ingeniería ambiental (en todas sus subespecialidades) a nivel de *Master* o de doctor y los estudiantes universitarios que siguen cursos sobre temas ambientales en el llamado a veces nivel de apreciación o información. Como ejemplos de esto último podemos pensar en los estudiantes de ingeniería civil que estudian arquitectura paisajística, los estudiantes de ingeniería química que siguen un curso de ecología de las aguas dulces y los alumnos de ingeniería agrícola que aprenden los efectos de ciertos plaguicidas. Mientras que los estudiantes postuniversitarios han elegido una rama de la ingeniería que se ocupa directamente del “medio ambiente”, los estudiantes universitarios están poco o nada comprometidos. Pueden tener prejuicios rígidos sobre lo que abarca la ingeniería e incluso percibir una demanda adicional sobre su tiempo y su energía.

Sin embargo, no debemos ser demasiado categóricos a ese respecto. En cualquier nivel pueden surgir problemas de motivación. Los estudios

sobre el medio ambiente imponen grandes exigencias, por ejemplo, la necesidad de transferir modelos de un campo a otro, de contrapesar fenómenos mensurables con consideraciones subjetivas cargadas de valores y aceptar ciertas cosas a ojos cerrados hasta que se establezca ulteriormente su pertinencia. La escuela debe reconocer esas exigencias y preverlas en su plan de organización si quiere obtener resultados educativos satisfactorios.

Cuando hay problemas de motivación entre los estudiantes universitarios es más probable que se encuentren en las disciplinas enseñadas por profesores que no son ingenieros. Dejemos bien claro que sólo se trata de una cuestión de probabilidad. Algunos profesores no ingenieros que enseñan a estudiantes universitarios de ingeniería son correspondidos con una viva atención y un intenso trabajo, mientras que algunos profesores ingenieros encuentran problemas de motivación. Sin embargo, los profesores no ingenieros tienen una dificultad que los sociólogos explican en términos de “autorreferencia” y “modelos funcionales”. La mayor parte de los estudiantes que intentan hacerse ingenieros se refieren a personas que ya son ingenieros. Estas personas se convierten en sus modelos funcionales, de modo que los alumnos adoptan las actitudes y los valores (junto tal vez con otros elementos de su personalidad) de los ingenieros a los que tratan en la escuela. En las escuelas de arquitectura y de medicina pueden encontrarse tendencias paralelas. Éste es un aspecto de lo que se ha llamado el “currículum oculto”. Ninguna persona interesada por los estudios interdisciplinarios debe subestimar sus efectos.

La conclusión no es que el profesorado de las escuelas de ingeniería debe estar formado únicamente por ingenieros. La pérdida sería grande. Sin embargo, significa que los directores de la escuela y, en realidad, cada ingeniero de ella, deberían darse cuenta de la importancia que tiene mostrar a los alumnos, abiertamente o de manera sutil, que las disciplinas ajenas a la corriente principal de la ciencia de la ingeniería son importantes e interesantes y que sus colegas no ingenieros son personas relevantes e interesantes. Esto puede hacerse de muchas maneras. Se puede enseñar junto con los no ingenieros cuando sea factible; examinar el plan de estudios complementarios con los alumnos; insistir en la paridad de esfuerzo y evaluación dentro de dicho plan; y evitar cualquier sugerencia de que se trata de disciplinas marginales en las que se tolerarán niveles inferiores.

#### EL PROFESOR NO INGENIERO

La contratación y la motivación continua de los profesores no ingenieros es un problema difícil. Toda la tradición de la enseñanza superior en muchos países subordina el prestigio y la carrera a la especialización.

Además, la investigación especializada exige un ambiente de especialización: frecuentes contactos con otros colegas especialistas, ciertos recursos bibliotecarios, la formación y supervisión de estudiantes adelantados y a veces equipos y servicios especiales de laboratorio.

En los establecimientos que son primordialmente una escuela de ingeniería resulta poco frecuente que los no ingenieros encuentren esas condiciones. Tampoco es frecuente que los no ingenieros tengan perspectivas de carrera equivalentes a las de los profesores ingenieros. Esto no se debe necesariamente a que se considere a los no ingenieros como personas subordinadas o periféricas. Se debe con frecuencia a que sus disciplinas no se consideran tan esenciales como para justificar un puesto importante, por ejemplo a nivel de encargado de curso o profesor titular. También puede intervenir el problema de la licencia profesional; algunos pueden considerar inapropiado que en una escuela de ingeniería haya un profesor que no sea ingeniero.

Sin embargo, el problema puede ser transitorio y resolverse finalmente mediante una evolución de las estructuras universitarias. La enseñanza de la arquitectura ofrece un buen ejemplo de lo dicho. En algunos países occidentales, este campo de estudios estaba basado hasta hace poco en escuelas de bellas artes y era independiente de la enseñanza científica y técnica. Cuando se reconoció la necesidad de la enseñanza de los problemas acústicos y térmicos se contrataron profesores de física para formar parte del personal docente. Algunos de ellos, que tuvieron el acierto de aprovechar esa oportunidad, abandonaron la idea de una carrera universitaria de física y dedicaron sus esfuerzos de enseñanza e investigación a la aplicación de la física y los modelos de sistemas a los problemas teóricos y prácticos de la construcción. A medida que aumentó su experiencia, se desarrolló su disciplina y hoy día es posible hacer una carrera prestigiosa en física arquitectónica o de la construcción. No es difícil predecir oportunidades de carrera similares en disciplinas ajenas a la ingeniería de las que los ingenieros ambientales obtienen ya información y técnicas.

Si faltan las oportunidades de ese tipo y los no ingenieros no las vislumbran en el horizonte, sucederá lo inevitable. Los profesores activos y ambiciosos considerarán la educación relativa al medio ambiente como un trampolín y volverán a su especialidad inicial a la primera oportunidad favorable. Sólo se quedarán los menos capaces y, en consecuencia, disminuirán las posibilidades de enseñanza e investigación interdisciplinarias creadoras.

## INVESTIGACIÓN

En la enseñanza superior, y particularmente en los campos de las ciencias aplicadas y de la formación profesional, la palabra “investigación”

parece utilizarse de un modo impreciso para designar toda una serie de actividades reconocidas. Puede significar, por supuesto, un trabajo teórico o experimental original, que culmina en la publicación en revistas especializadas de prestigio científico. Puede significar especulaciones y comentarios sistemáticos, a veces sobre asuntos políticos y profesionales, publicados en revistas de una difusión más general. Además, se reconoce corrientemente que los profesores de universidad deben dedicar cierto tiempo a la investigación, a leer y hacer consultas que les permitan enseñar nuevos temas o supervisar investigaciones ajenas a su experiencia previa. A veces esto entraña originalidad y adelantos de gran valor, cuando se transfieren conocimientos y técnicas de un campo a otro para ofrecer nuevas ideas y abrir nuevas oportunidades a la práctica profesional. También esto puede llamarse investigación. Y la palabra puede emplearse todavía con más imprecisión para designar la actividad exterior a la universidad: labor consultiva con empresas privadas u organizaciones oficiales y servicios voluntarios en consejos de asesoramiento e investigación de muchos tipos. Ya hemos señalado que, generalmente en la enseñanza superior, la investigación pura y la publicación en revistas científicas es lo que confiere más prestigio y recompensas (que pueden extenderse desde la seguridad de permanencia en un puesto inicial hasta la concesión de una cátedra). Hay dos razones para poner en duda este sistema. Una es que ciertas personas, muy inteligentes y competentes, pierden su interés por la investigación pura en cierta etapa de su carrera. Algunas, ciertamente, pueden ser inaptas para ella en cualquier etapa aun poseyendo cualidades que podrían utilizarse mejor en algunas de las otras actividades que hemos mencionado.

La segunda razón para poner en duda la prioridad tradicional ocupa un lugar central en muchos de los dilemas y problemas del medio ambiente y de la educación ambiental. Utilizar la expresión "medio ambiente" es reconocer la existencia de ciertos valores y la preocupación que les rodea. Además, es un signo de interés por lo que un economista ha llamado "exterioridades" y por las transacciones entre cualquier sistema y todo lo que puede cambiarse y causar cambios alrededor de él. Las transacciones pueden ser físicas, biológicas, estéticas, sociales, económicas, comerciales, psicológicas y políticas. De aquí resulta que cuando un grupo de personas que representan diversas disciplinas está encargado del mejoramiento del medio o de la educación ambiental, debe estar dispuesto a utilizar los conocimientos y las ideas de todas las especialidades que lo forman.

Es poco probable que la investigación especializada consiga esto y, efectivamente, puede impedirlo. Emmelin (1975) pone en duda "el postulado de que la dedicación a la investigación hace a los científicos particularmente bien informados en un campo suficientemente amplio. La especialización necesaria... puede requerir tanto tiempo que impida

poder dedicarse a las lecturas que necesita un profesor encargado de un programa general consagrado al medio ambiente”. Hay otro postulado que debe rechazarse. La idea de que la investigación universitaria tradicional es esencial para una buena enseñanza, de que los investigadores en ejercicio son probablemente mejores profesores, forma parte de la sabiduría convencional de las universidades. Como ha señalado Flood Page (1972) no hay ninguna prueba de esta suposición ampliamente compartida. En efecto, su existencia, sin el apoyo de la investigación, es una negación de los valores universitarios. Voeks (1972) realizó un estudio en la Universidad de Washington tomando dos muestras de 405 y 193 profesores respectivamente pertenecientes a 28 departamentos. La autora llegó a la conclusión de que la investigación y una enseñanza eficaz “simplemente no estaban relacionadas de ningún modo aparente”. Gafni y Waks (1978) han examinado más recientemente la situación existente en el Technion. Después de estudiar la labor de investigación de 259 profesores y 16 599 cuestionarios que recogían la evaluación por parte de los alumnos de la eficacia docente, los autores llegaron a la conclusión de que: “el coeficiente de correlación significativamente negativo entre la enseñanza y la investigación que se obtiene al agrupar a los profesores por rango y facultad indica que, por término medio, los resultados en la enseñanza y la investigación en parte se oponen.”

No es fácil conseguir la integración del conocimiento entre personas que han sido condicionadas por una formación unidisciplinaria y un estudio especializado. Para ello se requiere una cultura de aprendizaje, un entorno social en el que la curiosidad, el intercambio de conocimientos, el interés intelectual y la discusión animada sean normales. En otras palabras, entre el personal docente y el personal de investigación debe establecerse una cultura que sea un modelo de la atmósfera que los mejores educadores tratan de suscitar entre los estudiantes universitarios en los cursos sobre medio ambiente e ingeniería ambiental. El establecimiento de esa cultura y su mantenimiento contra las fuerzas de la especialización son las tareas primordiales del administrador académico.

Los resultados tangibles de un fermento de aprendizaje interdisciplinario pueden tomar varias formas: *a)* nuevos estudios de casos y ejercicios para los alumnos; *b)* juegos, simulaciones y ejercicios de interpretación de un papel; *c)* ejercicios de concepción que requieren una supervisión interdisciplinaria; *d)* estudios sobre el terreno que reúnen a estudiantes de diferentes programas universitarios; *e)* ideas para investigaciones centradas en ciertos problemas y disposiciones para desarrollar el contacto entre académicos y profesionales.

Los sistemas universitarios tienen una inercia considerable por diversas razones. No es fácil que sus miembros comprendan la necesidad de cambiar, de adoptar nuevas prioridades. Esto quiere decir que si los decanos, los jefes de departamento y otros administradores principales

quieren desarrollar una enseñanza y una investigación interdisciplinaria y darle preferencia sobre los estudios tradicionales y especializados, tendrán que ser particularmente explícitos en lo que dicen a los nuevos colegas y a los ya existentes. Es más importante todavía que sus decisiones (en cuestiones de ejercicio y promoción, por ejemplo) refuercen su acción directiva verbal. “Los hechos son más elocuentes que las palabras”.

Hay que señalar un último punto. Existe la costumbre de criticar a los ingenieros por su supuesta ignorancia en campos universitarios ajenos al suyo. Aunque esto puede estar a veces justificado, lo que parece predominar es una tendencia entre los no ingenieros a suponer que la palabra “interdisciplinario” significa que son los ingenieros quienes deben hacer todo el esfuerzo para lograr una visión más amplia. Probablemente es justo decir que el éxito de la enseñanza y la investigación interdisciplinarias en ingeniería ambiental depende en gran medida de la capacidad de los no ingenieros para aprender ciertos aspectos esenciales tanto de la teoría como de la práctica de la ingeniería. Al seleccionar profesores no ingenieros, la administración debe tener en cuenta esa buena disposición procurando al mismo tiempo que sea correspondida por sus colegas ingenieros.

#### ALGUNOS CRITERIOS

Teniendo en cuenta lo antedicho formularemos algunos criterios que permiten apreciar la organización y la dirección en una escuela de ingeniería que se ocupa de enseñanza y formación ambientales. Algunos de los criterios se aplican a la estructura y más adelante examinaremos varios modelos. Otros son un problema de calidad: el estilo de la dirección, las actitudes del personal y las expectativas de los estudiantes.

Huelga decir que ambas influencias se combinan, pero mientras que la aplicación de una estructura particular puede influir en la calidad, y de hecho suele hacerlo, es raro que las personas de gran valor puedan superar las desventajas de una estructura universitaria que obstruya fundamentalmente el desarrollo de una enseñanza y una investigación interdisciplinarias. He aquí algunas preguntas.

1. ¿Procura la organización de la escuela y el sistema de cursos que los estudiantes de ingeniería reconozcan que las disciplinas relativas al medio ambiente pertenecen a su “dominio” o marco de referencia e influyen en su futura función de ingenieros?
2. ¿Permite el sistema que los alumnos tengan contacto espontáneo e informal con especialistas en medio ambiente que no sean ingenieros y estimula el empleo de recursos educativos?
3. ¿Contrata la escuela a los profesores de ingeniería, por lo menos en parte, debido a su interés por el medio ambiente? ¿Mantienen este

- compromiso mediante una actividad conjunta con sus colegas no ingenieros?
4. ¿Se contratan los miembros no ingenieros del personal, en parte por lo menos, en razón de su interés por la ingeniería? ¿Se les ofrecen posibilidades de autorrealización y promoción no inferiores a las de sus colegas ingenieros? ¿Se mantiene este compromiso y se demuestra que se mantiene?
  5. ¿La estructura de la escuela y la distribución de su tiempo obliga al personal a dedicarse a actividades interdisciplinarias como responsabilidad primordial? ¿Está programada tal actividad de manera que se produzca y se mantenga un impulso? (Pensamos aquí en los seminarios interdisciplinarios que debe dirigir cada miembro en fechas fijas con asistencia de todos los colegas; en los estudios de casos o simulaciones que deben escribirse y practicarse con los estudiantes en una fecha convenida; en el acuerdo de que una persona determinada dedique su tiempo disponible durante un periodo dado a estudiar una disciplina complementaria de la suya a fin de satisfacer una nueva necesidad docente.)
  6. ¿En el expediente de cada miembro del personal se consigna su contribución a la enseñanza interdisciplinaria en la escuela, de modo que esta contribución pueda dar más prestigio que las investigaciones y las publicaciones especializadas? ¿Se discute constructivamente esa contribución con cada miembro, por ejemplo una vez al año?
  7. ¿Son lo suficientemente flexibles la organización y los procedimientos correspondientes para poder modificarlos cuando se observen errores y resulten necesarios nuevos cambios?

### **Algunos modelos**

Teniendo en cuenta estos criterios, examinaremos ahora algunos modelos de organización universitaria. Estos ejemplos se han tomado de la observación directa en una serie de instituciones cuyo nombre se omitirá. Hay dos razones para ello. La primera es que, como en todos los modelos, se ha simplificado la realidad por poner de relieve lo esencial. Si hubiera que nombrar las fuentes sería necesario entrar en detalles superfluos y señalar cambios que se han producido desde entonces. La segunda razón es que algunas personas podrían molestarse por lo que tomarían como críticas por constructivo que pretenda ser el comentario. En consecuencia, los modelos deben verse como “diagramas verbales” en los que puede proyectarse la propia experiencia del lector. En todos los casos, el modelo consiste en una estructura docente o forma de organizativa de la educación ambiental. El título asignado a cada modelo no es más que una etiqueta para utilizarla en la discusión posterior.

**ENSEÑANZA AUXILIAR**

Se practica generalmente en la enseñanza superior cuando los departamentos especializados, que tienen programas propios de graduación, ofrecen cursos o series de conferencias a estudiantes de otros departamentos. El contenido de esta instrucción puede tomarse sin modificación del trabajo normal del departamento con los estudiantes internos o puede estar especialmente ideado para satisfacer las necesidades de los estudiantes o los deseos del personal del departamento receptor. Esta enseñanza existe probablemente en todas las universidades y no requiere más descripción.

Este tipo de procedimiento tiene varias ventajas, algunas de las cuales son una cuestión de comodidad. Consiste generalmente en un procedimiento barato que no requiere nombramientos especiales y que puede a veces utilizarse para absorber la capacidad excedente en el departamento que presta la asistencia. Es suficientemente flexible porque pueden concertarse nuevos acuerdos cada año, aunque esto entraña una falta de continuidad. Por ejemplo, el profesor que presta el servicio un año (y que tal vez aprende la mejor manera de impartir esa forma de enseñanza con frecuencia difícil al año siguiente) puede ser sustituido por un colega cuando llega el segundo año. En los casos corrientes, el profesor continúa su investigación especializada en su propio departamento y tiene, por supuesto, un contacto inalterado con sus colegas especialistas.

Por otra parte, este procedimiento no estimula por sí mismo la investigación interdisciplinaria ni ofrece oportunidades para que los alumnos de dos disciplinas trabajen juntos en problemas comunes, y refuerza la actitud de rechazo del estudiante de ingeniería con respecto a los temas que no son percibidos como parte de la ingeniería "real". Incluso si se encarga a alguien que procure que la enseñanza concertada guarde relación con la ingeniería, no hay ninguna garantía de que los profesores estén obligados a responder a esa sugerencia. Por el contrario, su posición segura en un departamento especializado desconectado de la ingeniería y los incentivos que actúan en ese departamento pueden hacer que la enseñanza auxiliar tenga una baja prioridad entre sus varias tareas.

**DEPARTAMENTO AUXILIAR**

Es una derivación del procedimiento anterior en virtud de la cual se crea un departamento dentro de una facultad, sin alumnos universitarios propios y con la enseñanza auxiliar para otros departamentos como función primordial. Este procedimiento se encuentra corrientemente en algunas grandes universidades técnicas en cuyas facultades de ingeniería pueden

existir departamentos de matemáticas y física con la única finalidad de atender las necesidades de los estudiantes de ingeniería. También podemos encontrar casos en los que se ha establecido un departamento único con el propósito de ofrecer una gran variedad de cursos a los estudiantes universitarios de ingeniería en temas tales como ciencias del medio ambiente, psicología ambiental, administración, derecho y economía.

Debido a que la enseñanza auxiliar es el propósito primordial de ese departamento, sumado a la mayor proximidad física y a las relaciones más estrechas entre los profesores, las posibilidades de integración son mayores que cuando la enseñanza es impartida por un departamento exterior con estudiantes y un programa de investigación propios.

Sin embargo, subsisten varias desventajas y los profesores de tal departamento pueden tener menos prestigio a los ojos de algunos estudiantes y tal vez también de los miembros ingenieros del personal. Más importante todavía es que los profesores pueden sentir que carecen de prestigio a los ojos de sus colegas generalmente especializados de la enseñanza superior; que son académicos de segunda clase y que tienen que trasladarse lo antes posible a departamentos especializados en sus propias disciplinas donde sus perspectivas de carrera puedan ser mejores o al menos más convencionales. En cambio, la reunión de esas personas puede, en circunstancias favorables y con una dirección adecuada, conducir a una enseñanza y una investigación interdisciplinarias que sean creadoras y constituyan una fuente de inspiración para los alumnos y los colegas. Es, por supuesto, necesario procurar que el departamento auxiliar tenga un número de puestos de categoría superior comparable al de los departamentos de ingeniería.

#### PROFESOR AGREGADO A UN DEPARTAMENTO

Lo que aquí se describe es un procedimiento en virtud del cual se adscriben uno o dos profesores no ingenieros a un departamento de ingeniería para impartir enseñanza fuera de la corriente tradicional de los estudios de ingeniería. Cada uno de ellos tiene que dar cursos especiales o participar en cursos interdisciplinarios cuando sea necesario. En general, no se dispone de servicios especiales de investigación y rara vez hay posibilidades de supervisar la investigación realizada por estudiantes graduados.

Todavía más que en los dos primeros modelos, el éxito y el fracaso dependen de la calidad de las personas participantes. Es posible que un profesor de capacidad sobresaliente ejerza una influencia sobre los intereses ambientales del departamento de ingeniería, que conquiste un prestigio especial en el departamento e incluso que realice investigaciones notables. Cabe decir, sin embargo, que las posibilidades de éxito son pocas, y que es bastante más probable que el interesado se traslade a una posición más prometedora en otro sitio.

**RED DE PROFESORES EN UN DEPARTAMENTO**

Este es un procedimiento raro en el que un cierto número de profesores, como se ha descrito anteriormente, están agrupados bajo cierta forma de departamento o semidepartamento. Esto quiere decir que intercambian cursos ocasionalmente o enseñan juntos para atender necesidades especiales a medida que surgen. Es evidente que tal conexión puede ofrecer apoyo psicológico a estos profesores y permitirles tener un portavoz principal que vele por sus intereses en la organización universitaria. En cambio, su pertenencia a dicho grupo puede significar que tengan menos posibilidades de ser considerados como miembros a parte entera de los departamentos en los que enseñan.

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN INTERDEPARTAMENTAL  
O INTERFACULTATIVO**

La escuela o universidad establece un programa permanente de investigación y asesoramiento en un campo definido o (y esto es más importante) un entorno que plantee una serie de problemas científicos, de planificación y administrativos: referido a un río, un lago o un estuario importantes, una zona urbana en vías de deterioro o un programa de extracción de minerales. Este medio se convierte en foco físico e intelectual para los estudiantes universitarios que sigan cursos preparatorios interdepartamentales y estudios sobre el terreno así como para los profesores que realizan actividades de investigación y asesoramiento centradas en un problema concreto.

Es importante que el proyecto tenga una gran variedad de aspectos a fin de que puedan participar especialistas de muchas disciplinas y relacionar su trabajo con el de sus colegas. También es importante que tenga una duración relativamente grande, tal vez de cuatro o cinco años como mínimo. Esto es necesario si se quiere que la experiencia adquirida en los cursos universitarios pueda servir para que tales cursos sean más eficaces desde el punto de vista educativo en años sucesivos, para que los contactos informales entre los profesores puedan llevar a una colaboración formal, para que los expertos exteriores a la universidad sean atraídos como consultores y críticos, para que el programa en su conjunto pueda adquirir impulso, atraer el apoyo financiero y los encargos de los departamentos y organismos gubernamentales pertinentes y, en general, para que aumente el prestigio de la educación ambiental en la universidad.

Puede decirse poco contra este modelo. No es necesario que sea costoso; en realidad puede no exigir gastos adicionales aparte de los de un coordinador encargado de establecer la colaboración entre departamentos cada vez que sea posible, de transmitir la experiencia de un año a otro y de representar al proyecto fuera de la universidad.

## PROGRAMA DE PARTICIPACIÓN EN INVESTIGACIONES

En este sistema, los estudiantes universitarios reservan una parte de su tiempo, normalmente en los últimos años de sus estudios, a fin de poder participar en actividades de investigación o asesoramiento, en la universidad o fuera de ella, a las que se considera equivalentes a un curso. La unidad del programa reúne y gestiona los ofrecimientos de investigación de profesores y grupos de investigación de la universidad, de los departamentos municipales, los organismos de desarrollo, los grupos de intereses especiales y los institutos de investigación exteriores a la universidad. Las oportunidades se enumeran y describen brevemente y se difunden entre los estudiantes cuando llega el momento de que éstos soliciten los puestos que deseen. Se califica la labor realizada por los estudiantes y tanto éstos como sus tutores informan a la unidad del programa al final de la adscripción.

Como ejemplo de esa participación cabe citar: un estudiante de ingeniería civil que dedica un día por semana a hacer una encuesta sobre el movimiento de peatones en un cruce de calles que necesita el ingeniero municipal, pero para lo cual no tiene personal suficiente; un estudiante de ingeniería química que realiza un estudio sobre la concentración de humos tóxicos en las fábricas locales para un sindicato que no tiene personal científico; un estudiante de ingeniería eléctrica que trabaja en el laboratorio de investigación del departamento universitario de biología ayudando a idear equipo para el análisis rápido de muestras de agua como parte de un programa de vigilancia del medio ambiente; dos estudiantes de ingeniería mecánica y uno de ingeniería industrial que colaboran bajo la dirección del ingeniero de la instalación universitaria sobre los medios de reducir los gastos de energía de la universidad. Igual que en el modelo precedente, mucho depende de la calidad del profesorado y de los alumnos, así como de la iniciativa del coordinador del programa. Es importante que no se trate a los estudiantes como mano de obra barata encargándoles tareas serviles o rutinarias. En todos los casos, el coordinador debe establecer previamente cuál es el propósito educativo que se conseguirá probablemente con la adscripción propuesta y en qué medida los supervisores propuestos se comprometen a que el experimento sea un éxito educativo. Cuando los alumnos son de un nivel satisfactorio y el programa está bien coordinado, un número apreciable de personas, tanto de la universidad como ajenas a ella, pueden recibir una considerable ayuda en su trabajo y a veces una visión nueva de los problemas que se pretende resolver.

Cabe decir, sin embargo, que los beneficios educativos de tal sistema sólo pueden enunciarse en términos generales. Debido a la gran variedad de las experiencias individuales y a las formas en que pueden cambiar éstas de un año a otro según los ofrecimientos que hagan los patro-

cinadores es prácticamente imposible predecir los conocimientos y las aptitudes que adquirirán los estudiantes. El beneficio radica sobre todo en el proceso de colaborar estrechamente con profesionales en actividad sobre problemas de importancia inmediata.

#### INVESTIGACIÓN CONCRETA BAJO PATROCINIO EXTERIOR

Este modelo, que es en cierto modo una versión a mayor escala del anterior, sólo se aplica a nivel postuniversitario. Los empleadores actuales o potenciales patrocinan a estudiantes (con buenas calificaciones universitarias y de ser posible varios años de experiencia después de graduarse) para que realicen investigación interdisciplinaria en la universidad sobre un problema elegido por los patrocinadores. En algunos casos, los estudiantes pueden ser empleados de las organizaciones patrocinadoras que los adscriben mientras dura la investigación.

En otros casos, los estudiantes investigadores pueden ser futuros empleados de la organización patrocinadora. En ambos casos, la organización puede considerar el programa como una oportunidad de preparar personas para cargos importantes. La organización patrocinadora costea una parte o la totalidad de los gastos del estudiante y contribuye a los gastos de funcionamiento del programa. A cambio de ello, la universidad ofrece su profesorado cuando sea necesario con fines de asesoramiento y supervisión. Los coordinadores mantienen un estrecho contacto con la organización patrocinadora a fin de que las investigaciones estén directamente orientadas hacia el problema particular que le interesa a la organización. Por la misma razón es corriente que un miembro de categoría superior y convenientemente calificado de la organización actúe como supervisor conjunto de los estudiantes.

La ventaja de un sistema de este tipo es que la investigación sobre el medio ambiente está firmemente centrada sobre problemas reales de cierta urgencia; que el valor del título superior se determina por su conexión con tales problemas; y que se crean vínculos entre las organizaciones y las universidades en beneficio de ambas. El resultado de este sistema depende, como los modelos anteriores, de la energía y la capacidad de los coordinadores. Sin embargo, depende menos de la calidad de los estudiantes pues la mayor parte de las veces se supone que las organizaciones patrocinadoras encontrarán personas con la capacidad intelectual y la motivación necesarias. En consecuencia, la responsabilidad de la universidad consiste en encontrar profesores suficientemente resueltos e interesados por los problemas tratados como para ejercer una supervisión eficaz de esos estudiantes y ganarse el respeto de los miembros importantes y altamente calificados de las organizaciones patrocinadoras.

## MATRICES DE DISCIPLINAS Y APLICACIONES

Este sistema presenta muchas variaciones y un amplio margen de títulos y designaciones posibles. En efecto, el margen de confusión es tan grande que es necesario concentrarse en los elementos universitarios esenciales ignorando los detalles que sólo podrían confundir. La idea fundamental es que los estudiantes sigan programas de módulos rigurosamente definidos con respecto a dos ejes. Pueden emplearse varios nombres para designarlos. Utilizaremos aquí el de “disciplinas” y “aplicaciones”. Los mismos ejes se utilizan para definir las funciones del personal, aunque algunos miembros pueden, y en realidad deben, actuar en ambos dominios.

Los grupos de disciplinas tienen normalmente nombres universitarios tradicionales, por ejemplo, biología, sociología urbana, análisis de sistemas, mecánica de fluidos, teoría de estructuras, etc. Sus profesores están encargados de la enseñanza y el aprendizaje en los respectivos cuerpos del conocimiento y de la técnica. Los módulos que ofrecen son accesibles (al menos en principio) para cualquier programa de graduación de la escuela.

Los grupos de aplicaciones, dirigidos a menudo por miembros del personal que tienen una orientación más profesional que universitaria tienen por objeto organizar y supervisar el aprendizaje activo mediante deberes, tales como estudios de casos, simulaciones, ejercicios de diseño y proyectos importantes. Estas actividades de aprendizaje están concebidas de manera que requieran una integración de los conocimientos y las técnicas aprendidos en los módulos de disciplinas que han estudiado ya los alumnos, así como desarrollar las aptitudes generales y transferibles para la resolución de problemas y el estudio independiente. Los módulos de aplicaciones pueden reunir alumnos de diferentes programas de graduación con el propósito deliberado de crear las bases de la comprensión y la colaboración interprofesional más adelante. Por esta razón, el personal supervisor está constituido por grupos mixtos reunidos igualmente para permitir el enfoque interdisciplinario de los problemas del mundo real.

Los estudiantes se matriculan en programas que tienen designaciones tradicionales (hay obvias razones para conservar éstas). Bajo el control y el asesoramiento de los coordinadores del programa, los estudiantes siguen una sucesión determinada de módulos de disciplinas y aplicaciones, que por lo común incluye una elección de los módulos en los años más avanzados.

Cada coordinador de programa tiene la experiencia necesaria para garantizar que la selección y la eficacia de todos los módulos de su programa satisfagan las necesidades profesionales de los estudiantes matriculados. Los coordinadores del programa, bajo la presidencia del

director de estudios o el director de la escuela, establecen y revisan la matriz de módulos, confeccionan los calendarios y resuelven los conflictos de prioridad a medida que surgen.

Las características esenciales del modelo son las siguientes:

1. No existe ningún departamento autónomo que monopolice las energías del personal ni el tiempo de los alumnos.
2. El personal sólo pasa una parte de su tiempo con sus colegas especializados. El resto del tiempo lo pasa con otros colegas planificando y supervisando la actividad interdisciplinaria centrada en los problemas. Está así obligado a adquirir una experiencia educativa permanente comparable a la de los alumnos.
3. La pertinencia y la eficacia de los módulos de disciplinas se miden por el rendimiento de los alumnos en los módulos de aplicaciones.
4. La eficacia de los módulos de aplicaciones se aprecia consultando a las sociedades profesionales, los empleadores, los antiguos alumnos y los estudiantes actuales.

No debe subestimarse el esfuerzo y la determinación necesarios para introducir esta forma de organización y defenderla hasta que alcanza su madurez. Sin embargo, algunas de las dificultades son "dificultades deseables", es decir, son las que surgen cuando se pide a los profesores que dejen la comodidad de las especialidades universitarias y justifiquen sus disciplinas ante sus colegas. Por ejemplo, algunos miembros pueden adoptar una actitud defensiva y obstructiva. Otros pueden ser incapaces de prever el tipo de carrera especializada que se habían prometido ellos mismos. Por último, otros pueden no encontrar fácil aceptar la coordinación necesaria para lograr que los módulos estén estrechamente interrelacionados y que los recursos de todos los tipos estén plenamente explotados. En cambio, algunos profesores pueden interesarse vivamente por las posibilidades que se abren ante ellos y por el sentimiento de que la educación ambiental puede elevarse a un nivel más alto y eficaz.

Este último punto es importante, pues sugiere que puede ser más fácil establecer un sistema de este tipo cuando se está creando una escuela o cuando pueden seleccionarse muchos profesores nuevos en función, al menos parcialmente, de su aprecio por el sistema. Pueden surgir otras oportunidades cuando se preparan nuevos programas. En todo caso, incluso después de un comienzo satisfactorio, no debe admitirse ninguna complacencia. Toda la experiencia adquirida en la enseñanza superior demuestra que incluso los mejores comienzos no ofrecen ninguna garantía contra la mediocridad latente. El precio de la excelencia es una eterna vigilancia.

## Conclusiones

No es fácil resumir brevemente un debate tan amplio como éste, pero las conclusiones que no son breves tienen poca utilidad. Lo esencial parece ser lo siguiente:

1. Se supone con demasiada frecuencia que el contenido esencial de la enseñanza es la información concreta y la técnica específica más que los procesos mediante los cuales se reúne y maneja ese conocimiento y se toman las decisiones. Es el "currículum" y no simplemente el "syllabus" lo que determina la calidad y el valor de la educación ambiental.
2. El "currículum" de los estudiantes, patente u oculto, está determinado en gran parte por el ambiente o la cultura existente entre sus profesores. En un respecto importante, la cultura es el "currículum".
3. Las principales influencias en la formación de los ingenieros sobre el medio ambiente son las actitudes de los profesores ingenieros y la función y el prestigio de los profesores no ingenieros. Puede ser una trivialidad decir que todas las organizaciones deben tener en cuenta los factores humanos, pero en este campo tales factores tienen una importancia crucial.
4. La función de la investigación también es importante, pero el concepto tradicional y estrecho es inapropiado. El futuro reside en promover una cultura de aprendizaje interdisciplinario. Este ambiente depende de la organización de la facultad y puede manifestarse de muchas maneras.
5. Existen más modelos de organización universitaria que los que se reconocen y consideran generalmente. Los expedientes tan sencillos y aparentemente económicos como la enseñanza auxiliar pueden ser un despilfarro de valiosos recursos humanos. Los sistemas más complejos exigen una planificación detallada y una estrecha coordinación.
6. La adopción de cualquier tipo de organización debe ser el resultado de un examen crítico de los fines reales de la escuela y no de circunstancias fortuitas y de una conformidad irreflexiva. Si la estructura está mal elegida, ningún nivel de excelencia del cuerpo docente podrá superar sus defectos.

## Referencias

- EMMELIN, L. 1975 *L'enseignement des problèmes de l'environnement au niveau universitaire*. Strasbourg, Conseil de l'Europe.
- FLOOD-PAGE, C. 1972. Teaching and research. Happy symbiosis or hidden warfare? *Universities quarterly*, nº 27.

- GAFNI, G.; WAKS S. 1978. Evaluating teaching effectiveness: research vs student ratings. *Engineering education*, mai.
- VOEKS, V. W. 1962. Publications and teaching effectiveness. *Journal of higher education*, vol. 33, nº 4.