

FUNDACION



**PRESENTE Y FUTURO DE LA INVESTIGACIÓN EN  
INGENIERÍA EN MÉXICO.**

**Comentarios a un simposio de la  
Academia Nacional de Ingeniería**

*Luis Esteva Maraboto*

**6**

**CUADERNOS FICA**

**M E X I C O**

**1 9 9 5**



**Derechos Reservados 1995  
Fundación ICA, A.C.**

**Viaducto Río Becerra N° 27- 2° piso  
Colonia Nápoles  
C.P. 03810 México, D.F.  
Tel. 669-39 85, 272-9991 ext. 4270-4271**

**ISBN 968-7508 06-X  
Impreso en México**

## LUIS ESTEVA MARABOTO

Investigador del Instituto de Ingeniería de la UNAM desde 1959, Subdirector del mismo de 1970 a 1977, Director de 1982 a 1991 y Coordinador de la Investigación Científica en 1991 y 1992. Profesor de las Divisiones Profesional y de Posgrado de la Facultad de Ingeniería desde 1959.

Recibió en 1958 el grado de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional Autónoma de México, en 1959 el de Maestro en Ciencias en el Instituto Tecnológico de Massachusetts y en 1968 el de Doctor en Ingeniería en la Universidad Nacional Autónoma de México.

Su práctica profesional incluye diseño estructural de 1959 a 1966 y la consultoría en proyectos especiales a partir de esa fecha. Ha participado en la formulación de diversos reglamentos de construcciones, para México y otros países. Ha sido profesor visitante en el Departamento de Ingeniería Civil del Instituto Tecnológico de Massachusetts, y ha presentado conferencias en un gran número de universidades de México y del extranjero. Es autor de un gran número de artículos y de varios capítulos de libros sobre diseño estructural, confiabilidad, ingeniería sísmica y riesgo sísmico, y consultor en estas áreas para diversos proyectos, nacionales e internacionales.

Fue Presidente de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica de 1976 a 1980 y miembro del directorio de la Asociación Internacional de Ingeniería Sísmica de 1969 a 1977 y de 1984 a 1992. De 1988 a 1992 fue Vicepresidente Ejecutivo de dicha Asociación. Actualmente es Presidente de la Asociación Internacional para Análisis de Riesgo y Confiabilidad en Ingeniería Civil y miembro del Consejo Directivo de la Asociación Internacional de Seguridad y Confiabilidad Estructural.

En 1970 recibió el Premio de Ciencias de la Academia de la Investigación Científica, en 1978 el Premio Luis Elizondo, en 1981 el Premio Nacional de Ciencias en el Área de Tecnología y Diseño, en 1992 el Premio Anual de la Academia Nacional de Ingeniería y, el Premio de Tecnología de TWNSO (Third World Network of Scientific Organizations), y en 1993 el Premio UNAM de Tecnología y Diseño Industrial.

Es miembro de la Academia de la Investigación Científica desde 1963, de la Academia Mexicana de Ingeniería desde 1982 y de la Academia

Nacional de Ingeniería desde 1984. De esta última es Vicepresidente desde 1993.

Es investigador nacional desde 1984, y Coordinador del Área de Ingeniería y Tecnología del Consejo Consultivo de Ciencias y de la Academia de la Investigación Científica. Ha participado activamente en un gran número de comisiones y organismos asesores de diversas instituciones académicas y profesionales, tanto nacionales como internacionales.

En 1994 recibió la Cátedra Patrimonial Nivel 1 de CONACYT y fue designado Investigador Emérito de la UNAM.

## PRESENTE Y FUTURO DE LA INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA EN MÉXICO. Comentarios a un simposio de la Academia Nacional de Ingeniería.

*Luis Esteva Maraboto*

### ANTECEDENTES.

Este escrito se presentó en el Congreso de la Academia de la Investigación Científica, realizado en la ciudad de Zacatecas en junio de 1995. Es el resultado de un simposio sobre prospección de la investigación en Ingeniería en México que, con el mismo título que este trabajo, se llevó a cabo en noviembre de 1994 en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, bajo los auspicios de la Academia Nacional de Ingeniería.

El simposio se integró a partir de una serie de presentaciones, cada una relativa a un área de la ingeniería, que resultó del trabajo previo de un grupo que sesionó varias veces, durante los meses anteriores al simposio, bajo la coordinación de un investigador del área, miembro de la Academia. En lo posible, cada grupo se integró con miembros procedentes de los sectores académico, oficial e industrial, que no eran necesariamente miembros de la Academia. La misión de cada grupo era presentar un panorama actual del desarrollo de su área, incluyendo conceptos tales como los niveles académicos, los tipos de trabajo predominantes y la extensión y calidad del grado de vinculación entre los tres sectores. En el apéndice -A- se incluye una lista de los informes de los grupos de trabajo y de los coordinadores.

Las notas que siguen intentan dar una visión de lo que se presentó y de las opiniones que se expresaron. Tratan de describir fielmente el sentir general, incluyendo algunas opiniones divergentes, pero el autor no resistió la tentación de incluir algunos puntos de vista personales. La organización de este trabajo no corresponde a la de los informes por área, que tuvieron un formato flexible, sino que fue decidida por el autor de acuerdo con los temas que recibieron la mayor atención en los documentos escritos y durante las discusiones.

## NATURALEZA DE LA INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA.

A diferencia de la investigación científica o humanista, la que se hace en ingeniería y tecnología no tiene como fin primordial conocer la naturaleza, la sociedad o al hombre mismo, sino aprovechar el conocimiento para acrecentar el bienestar de hombres y sociedades y contribuir a resolver los problemas que los afectan.

Otra diferencia significativa corresponde a los medios a través de los cuales los resultados de la investigación trascienden a la sociedad; mientras que el nuevo conocimiento científico se trasmite a los investigadores de todo el mundo a través de revistas especializadas y se integran al acervo internacional, considerando como bien público de acceso irrestricto, la orientación, los usuarios y los cauces del nuevo conocimiento en ingeniería y tecnología o de las nuevas formas de aprovechar conocimiento previo son diversos.

En no pocos casos, la investigación que se realiza en ingeniería y tecnología explora áreas similares y busca conocimiento del mismo tipo que el que se buscaría en un proyecto de investigación científica, aunque el fin último sea su aplicación. En ocasiones, principalmente en la investigación orientada a las aplicaciones que se realiza en instituciones académicas, los resultados se publican abiertamente, aunque no siempre se tenga en mente como destinatario principal a la comunidad internacional de especialistas en el tema, sino a grupos más restringidos, a menudo encerrados en un ámbito nacional o regional.

En otros casos, los objetivos de la investigación se centran en el desarrollo de métodos de trabajo para la práctica de la ingeniería, de formas eficientes de aprovechar el conocimiento previo, o de encontrar soluciones de aplicación generalizada a problemas específicos de la sociedad. Los destinatarios inmediatos de los frutos de estos estudios podrán ser los profesionales de una disciplina técnica, las entidades de gobierno, los interesados en la explotación comercial de un producto específico o, en general, los miembros de la sociedad civil. Igualmente variadas serán las formas de transmitir los resultados y el grado de apertura o confidencialidad con que se haga la transmisión. Variados serán, en consecuencia, los mecanismos y las fuentes de apoyo, así como los criterios de evaluación.

Los esfuerzos que durante las últimas décadas ha realizado nuestro país, para desarrollar su infraestructura científicas y tecnológica con miras a un desarrollo social y económico sustentable, han generado la

necesidad de establecer criterios claros y objetivos para evaluar la labor de los investigadores, como sustento de las decisiones relativas al otorgamiento de reconocimientos económicos o a la asignación de recursos a nuevos proyectos. Para evaluar la investigación científica y a los investigadores en lo individual, se ha optado por criterios basados en indicadores similares a los que se emplean en los países con larga tradición en dicha actividad, pero no se ha reconocido suficientemente la necesidad de complementar tales criterios con juicios basados en análisis más detallados y profundos. Los criterios para evaluar la investigación en ingeniería y tecnología afrontan retos aún mayores, en gran medida como consecuencia de la mayor diversidad de orientaciones, objetivos, escalas de valores, destinatarios y formas de transferencia.

Muchos productos de la investigación en ingeniería están dirigidos a ofrecer herramientas de trabajo a los profesionales de la práctica, otros proporcionan información novedosa aplicable a obras específicas de interés público; en fin, sirven de base a la revisión de reglamentos de construcción o a la de normas técnicas de ingeniería o de control de calidad. Otros más se orientan a hacer más competitiva, económica y ecológica, la producción industrial de bienes y servicios.

En muchos casos los objetivos y el planteamiento de la investigación coinciden con los que interesan a otros grupos en la comunidad internacional, pero en otros los beneficios esperados, posiblemente grandes, tendrán alcance estrictamente local o regional. Pocos dudan de la responsabilidad del estado de apoyar investigación como la descrita en este párrafo, pero muy pocos han dedicado esfuerzos amplios y serios a analizar y actualizar los correspondientes mecanismos y criterios de evaluación y asignación de recursos, que no necesariamente coinciden con los que se aceptan para juzgar la producción científica. El problema dista de ser trivial, pues por un lado sería nocivo limitar el apoyo que requiere el desarrollo de actividades como las citadas, indispensables para el país, y por otro sería inconveniente reducir los estímulos que impulsan a los investigadores a plantearse metas ambiciosas a nivel internacional y someterse al juicio y a la crítica de los líderes mundiales en su disciplina.

En otros casos, los frutos esperados de la investigación aplicada pueden ser tecnologías pre-competitivas, susceptibles de transformarse en procesos industriales o productos novedosos a menudo después de esfuerzos adicionales considerables por parte de los interesados en su explotación comercial. El valor de estos trabajos está más ligado a su posible contribución al bienestar social o a

beneficios económicos para grupos específicos que a sus posibles aportaciones al conocimiento o a la tecnología. Determina dicho valor el interés o la capacidad empresarial, de ahí que la asignación de recursos por parte del estado y el reconocimiento económico a quienes realizan este tipo de actividades deben estar condicionados a la participación económica y estratégica de los interesados en aplicar sus resultados.

La orientación y el enfoque de la investigación en ingeniería y tecnología dependen del entorno en que se realice. En las instituciones académicas se estimula la visión profunda y de largo plazo; se enfatizan el entendimiento y la comprensión; la planeación se realiza a nivel individual, preservando como valor esencial la independencia de los investigadores.

En la industria, o en los proyectos que ésta apoya, los esfuerzos se concentran en la solución de problemas delimitados con precisión; los valores esenciales son la aplicabilidad a corto plazo, la eficiencia, la funcionalidad y la economía; se requiere de planeación a mediano plazo y la libertad de los investigadores se restringe de manera de adaptarse a dicha planeación. Las escalas de tiempo en que se enmarcan ambos grupos de actividades son distintas, y distintos también deben ser tanto los mecanismos de transmisión de resultados, de evaluación y de apoyo como los responsables de estas actividades. En el primer caso, el medio natural de transmitir los resultados será la publicación en revistas especializadas de circulación nacional o internacional, según su alcance y su nivel académico; la evaluación se basará en las opiniones de los líderes académicos en la disciplina. En el segundo caso, la transmisión de resultados se realiza mediante informes, consultorías o convenios de transferencia de tecnología. La evaluación se realiza con base en logros concretos, pero los criterios pueden diferir según la visión o los intereses de quienes apoyan o subsidian estas actividades

#### SITUACIÓN PRESENTE.

En nuestro país, la investigación en ingeniería y tecnología se desarrolla en las Instituciones de Educación Superior ( IES ), los Centros de Investigación y Desarrollo Tecnológico ( CIDT ), y los Centros de Investigación de las Industrias ( CII ). Como se ha dicho muchas veces, el número total de investigadores es excesivamente bajo para un país que pretende crear una industria competitiva en una economía

abierta. Esta situación de por sí alarmante, se vuelve patética cuando se tiene en cuenta que muy pocos de esos investigadores trabajan en los CII, o están vinculados con la industria. Es decir, para el sistema productivo la investigación es prácticamente inexistente. La que se hace en las IES, y en los CIDT, es en gran medida de carácter académico, y como el sector industrial no realiza planeación tecnológica a mediano y largo plazo, los programas de los investigadores y de los pequeños grupos de trabajo que se han formado alrededor de algunos de ellos se integran más bien en respuesta a percepciones o preferencias individuales que a las demandas o intereses de posibles usuarios.

Las políticas del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología ( CONACYT ) y del Sistema Nacional de Investigadores ( SIN ) de los últimos diez años, han hecho crecer la investigación que se realiza en las IES, y en los CIDT, y han contribuido a elevar su calidad. Los mecanismos de evaluación de la producción individual por parte del SIN, a cargo de grupos de expertos de diversas instituciones y especialidades, han tenido un papel preponderante en la citada elevación de calidad, pero persisten algunos problemas frecuentemente mencionados, derivados de dichos mecanismos, puesto que las percepciones económicas de los investigadores dependen en exceso de evaluaciones realizadas por completo fuera de sus instituciones y, en general, sin contacto con ellas; la capacidad de estas para plantear programas propios y para orientar dentro de ellos el trabajo de su personal académico, se ha visto drásticamente reducida. Un efecto adicional, que en parte lo es también de la virtual inexistencia de programas tecnológicos en la industria, es el sesgo académico, sin mucha preocupación por las aplicaciones que caracteriza a la llamada investigación tecnológica en muchos grupos e instituciones. Pero podrá argumentarse que estos problemas son menores si se les compara con el dispendio de recursos en actividades sin rumbo y sin calidad que se han puesto en evidencia durante los procesos de evaluación de la comisión dictaminadora del Área IV del SNI. Por un lado, la mayor parte del trabajo de perfil académico que producían los grupos de ingeniería y tecnología de las IES, y los CIDT, no se sometía, como debería haberse hecho, al rigor del arbitraje necesario para su publicación en revistas de circulación internacional; por otro, el trabajo orientado a aplicaciones con frecuencia ha sido realizado en total desvinculación con los posibles usuarios o ha consistido en estudios que más parecen aplicaciones típicas de la práctica de la ingeniería que proyectos de investigación.

Las experiencias en los Centros de Investigación en la Industria han sido en general valiosas, pero constituyen unos cuantos casos aislados.

Algunos de estos centros tienen problemas porque no fueron creados con una clara estrategia tecnológica de mediano y largo plazo.

De los párrafos anteriores se concluye la necesidad de examinar las políticas del CONACYT y del SNI, relativas a evaluación, apoyo y estímulo a la investigación en ingeniería y tecnología, con miras a mejorar su calidad y su interacción con el sector productivo. En particular, es urgente que este último defina sus estrategias y acciones en materia tecnológica, de preferencia tomando en cuenta las opiniones y la información de los sectores académico y oficial.

#### POLÍTICAS DE APOYO Y EVALUACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN APLICADA.

El tema de políticas de apoyo y evaluación para la investigación en ingeniería y tecnología se trató de pasada varias veces en una sección anterior, pues es difícil desligar la orientación y naturaleza de dicha investigación de los correspondientes criterios de evaluación y de asignación de recursos. Los párrafos que siguen abordan sistemáticamente el problema, que fue motivo de numerosas muestras de interés y preocupación durante la reunión de ANIAC.

Ante la inexistencia de propuestas sólidas, ambiciosas y con visión futura de la investigación que nos ocupa, quienes han tenido la responsabilidad de evaluar las realizaciones y programas de instituciones y grupos, y de asignarles recursos han considerado adecuado, como se mencionó anteriormente, basar estas actividades en el empleo de indicadores similares a los tradicionales en investigación científica: publicaciones en revistas con arbitraje y circulación internacionales y número de citas recopiladas por alguna institución reconocida para esta labor. Dado el carácter internacional de la ciencia y dada la ausencia de criterios "objetivos" alternativos, o las dificultades para aplicarlos, estos criterios seguirán representando por algún tiempo la menos mala de las opciones para evaluar la producción científica, y su aplicación más o menos rutinaria seguirá justificándose, a pesar de los vicios que propicia: sesgos y modas, atomización del trabajo y otras formas de manipulación curricular.

Para la investigación aplicada a estas limitaciones, hay que añadir las que se asocian con la incapacidad de los criterios en cuestión para valorar las contribuciones a la solución de problemas tecnológicos de interés local. Esta incapacidad ha sido tomada como bandera por algunos grupos de investigadores y tecnólogos para rechazar el empleo de estos criterios para evaluar su trabajo. Aunque el conflicto

no ha sido resuelto, ha madurado y ha producido buenos frutos; por un lado, ha estimulado a muchos ingenieros y tecnólogos a orientar sus esfuerzos de investigación, con visión de futuro, hacia la frontera internacional; por otro, ha convencido a muchos científicos de la necesidad de dedicar parte de nuestros recursos de investigación a la solución de problemas de interés local o regional, que requieran de planteamientos nuevos a nuestra escala de adaptación de criterios aplicados en otros países, o aún del empleo de equipo disponible únicamente en nuestras instituciones oficiales. Pero falta llevar a cabo una discusión abierta y constructiva que conduzca a un consenso sobre las funciones que debe realizar nuestra investigación en ingeniería y tecnología, los diversos tipos de orientación, enfoque y productos esperados, el balance óptimo entre los recursos que debemos invertir en cada uno de dichos tipos, los mecanismos de evaluación y de asignación de recursos para estimular el logro de dicho balance. Tal discusión deberá atacar con la misma fuerza los mitos de quienes se aferran a formas únicas de evaluación supuestamente objetivas, y los pretextos de quienes emplean la solución a corto plazo de problemas nacionales como bandera para evitar la competencia y la evaluación a niveles internacionales.

Es innegable el valor que ha tenido la adopción en nuestro medio de criterios basados en indicadores internacionales para evaluar nuestra producción científica; sin ellos, en vez de realizar investigación original muchos de nuestros laboratorios estarían dedicados a repetir los experimentos de otros. También es innegable el valor que ha tenido la presión de los científicos para imponer los mismos criterios para evaluar la producción en investigación orientada a las aplicaciones; ha obligado a nuestros ingenieros y tecnólogos a plantear su trabajo en un marco de referencia internacional y a competir a ese nivel. Pero hemos sustituido el fin por el medio; el descansar excesivamente en la evaluación por pares internacionales nos lleva a desentendernos de nuestra responsabilidad de realizar evaluaciones más profundas, basadas en juicios de expertos, que analicen el alcance y el contenido de las obras de individuos, grupos e instituciones, y los valores en el doble marco de nuestras metas a largo plazo y nuestra incidencia en las soluciones del presente. El empleo exclusivo de los indicadores tradicionales estimula la publicidad académica, pero no necesariamente la utilidad ni la aplicabilidad en nuestro medio. De ahí que el empleo de dichos indicadores deba constituir únicamente información auxiliar en un proceso más profundo de análisis directo por parte de expertos. Pero falta establecer las reglas del juego.

Otra preocupación generalizada entre ingenieros y tecnólogos es la política oficial de transferir, casi en exclusiva a la industria, la responsabilidad de patrocinar investigación orientada al desarrollo de procesos o productos comercializables. Quienes proponen la revisión de esta política abogan por la asignación de recursos oficiales de manera selectiva al desarrollo de tecnologías pre-competitivas en instituciones académicas, con la doble función de apoyar a la pequeña y mediana industria, que no cuenta con otra forma de competir en la economía abierta, y de mantener una infraestructura de capacidades tecnológicas que propicie y haga factible el desarrollo de proyectos más ambiciosos en programas conjuntos con empresas privadas. Al reconocer la conveniencia de revisar estas políticas, no ignoramos las experiencias negativas derivadas del apoyo a investigación surgida del medio académico, que pretende conducir a desarrollos tecnológicos que no han alcanzado el aval de empresarios con el interés y la capacidad suficientes para convertirlos en fuentes de riqueza. Estas experiencias debilitan el argumento de que el Estado debe apoyar la investigación y el desarrollo tecnológico porque el sector privado no lo hace, pero no eliminan la responsabilidad de ambos sectores, con el apoyo del sector académico, de identificar las líneas en que debería apoyarse en forma compartida la investigación orientada a la creación de infraestructura y de formación de personal. Ello implica la colaboración en actividades tales como las auditorías tecnológicas de ramas industriales, el estudio de patentes aprovechables, y la identificación de nichos de oportunidad.

En los proyectos cuyos beneficios esperados sean principalmente utilidades para empresas específicas, los criterios de evaluación y de asignación de recursos por parte del Estado deben ser congruentes con las estrategias adoptadas para mantener una infraestructura de capacidades tecnológicas que sirva de apoyo al desarrollo de nuestra planta industrial en condiciones competitivas a nivel internacional; en otras palabras, con el subsidio que sea razonable otorgar para mantener la infraestructura citada.

A las preocupaciones anteriores hay que añadir el consenso sobre el papel insustituible de nuestros investigadores, en la transmisión de sus resultados a nuestros profesionales que trabajan en sus aplicaciones prácticas. Ello conduce a la conveniencia de apoyar políticas que estimulen la publicación de los resultados de la investigación en forma digerida. Los medios pueden ser libros de texto, manuales, guías técnicas, normas de calidad, procedimientos de diseño en ingeniería, etc.

Conviene estimular la vinculación de los académicos con las necesidades de los sectores oficial, profesional e industrial, a fin de aumentar el potencial de los primeros para incidir en nuestro desarrollo tecnológico.

## FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS.

En algunas áreas, el nivel académico de los egresados de carreras de ingeniería de las IES, ha descendido considerablemente. Han contribuido a este descenso los bajos salarios de los profesores -lo que redundaba en una sobrecarga de compromisos adicionales de trabajo, así como el deterioro y la obsolescencia de laboratorios y bibliotecas- como consecuencia de la reducción paulatina de los presupuestos institucionales, principalmente en algunas de la provincia. También ha influido la falta de políticas que reconozcan y estimulen la calidad y la dedicación en la labor docente. En consecuencia, la inscripción a cursos de posgrado ha decaído notablemente y la deserción ha subido. También el interés de los estudiantes brillantes por realizar una carrera académica. En pocas palabras, las posibilidades de formar a los investigadores que necesita el país son cada vez más limitadas, tanto por el decreciente número de líderes académicos en las IES, como por los pocos alicientes que actualmente presenta a los jóvenes la carrera académica en ingeniería y tecnología. Revertir las tendencias anteriores constituye un reto que deberá afrontarse con políticas concretas y claras. Al plantearse tales políticas debe estimularse el diálogo permanente entre los sectores empresarial, académico y oficial, pues la participación que hasta ahora han tenido los docentes en el análisis de la política industrial de nuestro país, ha contribuido en gran medida a la desconexión entre las características de los ingenieros que requiere la industria, y las de los que se forman en las instituciones académicas; mientras la industria mexicana, principalmente la pequeña y la mediana, siente cada vez más la escasez de ingenieros con formación multidisciplinarias, en muchas instituciones académicas se insiste en la especialización exagerada. La escasez de proyectos de investigación multidisciplinaria es un síntoma del reducido interés por resolver problemas como los que presenta la innovación tecnológica en un mundo real, no encasillado en especialidades. Debemos dedicar esfuerzos a desarrollar en nuestros investigadores la capacidad y el interés por trabajar en equipos multidisciplinarios, que combinen la profundidad de cada especialista en su tema con la visión amplia que resulta de la interacción en el seno del equipo. Pero, por supuesto, todo este esfuerzo tendrá sentido en

la medida en que, en su planeación participen quienes habrán de encargarse de convertir los resultados de la investigación en bienes con valor social o económico.

#### VINCULACIÓN INDUSTRIA-UNIVERSIDAD.

Para cumplir mejor con su función de desarrollar la infraestructura física del país, el sector oficial ha acudido a las instituciones de investigación en general, en busca de asesoría relacionada con proyectos de ingeniería para obras específicas o en apoyo de programas de investigación con objetivos y metas claramente definidos, y resultados esperados aplicables a corto plazo en tales proyectos. En ciertos casos, el apoyo oficial ha cubierto programas con horizonte un poco más amplio. Entre estos programas se encuentran, por ejemplo, la instalación y mantenimiento de redes de instrumentos para registrar el movimiento del terreno durante sismos intensos, o para actualizar normas de construcción. La mayor parte de las actividades en listadas en este párrafo tienen en común, que abordan problemas importantes de la Ingeniería Civil, disciplina a la que corresponde una fracción importante del número de casos de vinculación exitosa entre instituciones de investigación, empresas y/o entidades oficiales. El éxito se ha asociado con la madurez de la industria de la construcción, la orientación a partir de necesidades específicas, el liderazgo de personas con visión innovadora en puestos clave para el desarrollo de opciones propias, y del efecto de fertilización recíproca resultante del intenso intercambio de científicos con organizaciones de otros países.

En otras disciplinas, la participación de la industria en programas similares ha sido mucho menor, no únicamente como resultado del escaso interés -o la falta de tradición- de nuestros empresarios por mejorar su tecnología con aportaciones propias. Aún en los países tecnológicamente avanzados, la participación de la industria en el patrocinio de investigación en las instituciones académicas se ve a veces con recelo, el cual se asocia en parte, a las diferencias en enfoque y ritmo entre la investigación que suele realizarse en tales instituciones y la que interesa a la industria, y en parte, a la divergencia entre los objetivos y valores de ambos tipos de organizaciones; para unos es importante publicar los logros de sus investigaciones, y para otros son esenciales el secreto y la propiedad intelectual. También se mencionan como fuente de intranquilidad las

dificultades para cerrar la brecha entre la organización universitaria, centrada en disciplinas, y la industrial, orientada a la misión.

Los inconvenientes anteriores no han impedido en los países desarrollados industrialmente el crecimiento del interés de las empresas en la investigación universitaria y en su financiamiento. De acuerdo con la literatura especializada, este interés está asociado en general con la existencia de programas de investigación dentro de las empresas. A diferencia nuestra, en los países desarrollados, las iniciativas de vinculación suelen venir de la industria; en México, como es típico en los países en desarrollo, "...los empresarios no están orientados a comunicarse con los sectores de investigación nacionales, a compartir los riesgos inherentes a la generación de desarrollos tecnológicos". La responsabilidad de la vinculación ha sido asumida por las universidades, a las que incluso se han llegado a atribuir tareas que deberían corresponder a la industria, tales como las evaluaciones de factibilidad técnico-económica. La lección que de aquí resulta es que si deseamos establecer una vinculación productiva industria-universidad, que incluya investigación cooperativa o subsidiada por la industria, o convenios de transferencia de tecnología, debemos pensar en mecanismos más amplios de vinculación, que deberían incluir, además, programas de formación de personal, divulgación científica, consultoría especializada y planeación de desarrollo tecnológico. De todos modos, hay que evitar el error de esperar del sector industrial apoyo significativo para la investigación científica, sea básica o aplicada. Aunque en algunos países desarrollados las empresas más dinámicas tecnológicamente realizan o apoyan investigación científica, en general el apoyo a programas externos no llega al 10 por ciento del que proviene de fondos gubernamentales.

Antes de la década de los 60's, la participación de nuestros ingenieros en el manejo de nuestra planta industrial se circunscribía a actividades de operación, supervisión y mantenimiento, de manera que el avance profesional se orientaba casi exclusivamente hacia puestos de administración y dirección, a falta de posibilidades de evolución hacia niveles técnicos superiores. A partir de esa época, empiezan a constituir una proporción importante de los cuadros directivos de las industrias e incursionan en la modificación y construcción de plantas. Ello conduce a la revisión de los programas docentes de ingeniería, que incorporan materias de organización y ejecución de proyectos industriales con énfasis en ingeniería de detalle y de construcción. A esta época corresponde la iniciación de esfuerzos sistemáticos de formación de personal y creación de infraestructura en las IES, a fin de establecer grupos permanentes de investigación con niveles

internacionales de calidad. Poco más tarde, se crean los primeros centros oficiales de investigación y desarrollo tecnológico, con la misión de acelerar la gestación de vínculos entre la investigación y la actividad productiva.

A consecuencia de la apertura de la economía que se dio en los años 80's, algunas empresas decidieron que deberían crear y fortalecer sus propios grupos de investigación, y que para ello deberían aprovechar la experiencia de los centros de investigación ( IES o CIDT ) para plantear programas de investigación y desarrollo, y de formación de recursos humanos. Las IES también percibían la necesidad de vinculación industria-universidad, pero no se contaba con experiencia ni con modelos locales para tal vinculación. Al principio, la única relación entre ambos mundos consistía en cursos de actualización a ingenieros en ejercicio profesional, más orientado a operación y administración que a desarrollo tecnológico. De esta relación solo excepcionalmente surgían ideas sobre planes de colaboración más ambiciosos. Esporádicamente la industria acudía a la universidad buscando apoyo para resolver un problema puntual, o para tener acceso a algún tipo de equipo no disponible internamente; pero estas acciones aisladas han estado muy lejos de conducir a un conocimiento recíproco que muestre a la industria, las capacidades de los centros de investigación para apoyar programas de desarrollo y que haga conocer a estos centros las necesidades de las industrias.

Los casos de vinculación razonablemente amplia y estable han sido unos cuantos, y los grados de éxito, diversos. Las acciones realizadas incluyen, entre otras, formación de personal de investigación, generación y difusión de conocimiento, planeación y actualización tecnológicas, y solución de problemas específicos. Los casos más exitosos tienen en común la existencia o la creación de grupos de investigación y desarrollo dentro de la propia empresa. Los beneficios principales, según son percibidos por las industrias, son estratégicos, garantizan un semillero de investigadores y logran un vínculo estable con la investigación, con visión de corto y largo plazo.

Aparte de la Civil, otras ramas de la Ingeniería cuentan con historias de vinculación exitosa industria-universidad que cubren varias décadas. Tales son la Ingeniería Térmica y el área de Máquinas y Mecanismos; pero en la mayor parte de los casos no existe tal vinculación, porque no existe el interés por desarrollar o modificar tecnología local, o para evaluar con bases firmes las tecnologías que se contemplan adquirir.

Uno de estos casos es la industria electrónica, que en nuestro país consiste fundamentalmente en plantas maquiladoras y plantas

mexicanas de empresas transnacionales, que se apoyan casi exclusivamente en investigación realizada en sus países de origen.

Existe además la industria mediana, escasa y basada en tecnología adquirida en el extranjero. Obtiene apoyo local en tecnología de manufactura, pero no para el desarrollo de nuevos productos o mejoría de los existentes. En resumen, la industria electrónica mexicana no emplea resultados de investigación local, que por otro lado se ha orientado más al estudio de nuevos principios, materiales y componentes, que a la generación de aplicaciones específicas y nuevos productos. El sesgo se debe a que casi la totalidad de la investigación de nuestro país, en el área que se discute, tiene lugar en instituciones académicas, y se evalúa y apoya con criterios que privilegian a los nuevos conocimientos por encima de las posibles aplicaciones. Pero, debe tenerse presente que a esta falta de reconocimiento y apoyo al trabajo orientado al desarrollo tecnológico, ha contribuido el descrédito asociado al desarrollo de proyectos "injustificables en términos de calidad y actualidad tecnológica, y casi siempre sin aplicación práctica, dentro o fuera de las instituciones educativas".

Terminaremos esta sección haciendo notar la preocupación de algunos ingenieros destacados, con experiencia en la academia y en la industria, sobre la urgencia de actualizar los planes de estudios de diversas especialidades y las políticas académicas, tomando en cuenta lo siguiente:

a) aumentar la capacitación en los procesos de manufactura, b) requerir que los profesores tengan experiencia industrial reciente, y c) estimular años sabáticos de los investigadores en la industria.

#### **PROBLEMAS AMBIENTALES.**

En sus inicios, la Ingeniería Ambiental se concebía como una disciplina orientada a la aplicación de medidas correctivas para resolver los problemas de deterioro del medio ambiente, abatimiento de la contaminación de agua, aire y suelos, y tratamiento de residuos. Actualmente enfatiza las acciones preventivas: el desarrollo de procesos limpios de producción, eficientes en el uso de energía y materiales. Como consecuencia de este planteamiento, la investigación y el desarrollo tecnológico en el área ambiental han adquirido un carácter multidisciplinario y están presentes en el estudio especializado de procesos industriales de distintos tipos.

El ritmo de crecimiento de la producción industrial, y por ende del potencial para contaminar, ha generado tendencias crecientes en el rigor de las normas de calidad ambiental, cuyo cumplimiento exigirá costos excesivos o nuevas tecnologías. Desafortunadamente, en algunos casos, esta sana tendencia se ha visto acentuada por una componente menos sana, existen evidencias de que el objetivo de algunas normas ambientales ha sido dejar fuera del mercado a empresas de otros países, incapaces de cumplirlas. Para países como el nuestro, lo anterior torna en urgente la implantación de programas ambiciosos para reforzar nuestra capacidad de investigación en Ingeniería Ambiental, entendida en su concepción moderna, preventiva, multidisciplinaria y cuidadosa de los recursos naturales.

En México, la investigación en Ingeniería Ambiental ha tenido un gran auge durante los últimos años, pero los esfuerzos se concentran en unas cuantas instituciones de educación superior. La experiencia en el tratamiento de aguas residuales y en la evaluación y control de emisiones de gases es mucho mayor que en el tratamiento y disposición de los residuos peligrosos o en la rehabilitación de sitios contaminados con ellos. La investigación sobre tecnologías limpias es incipiente.

Como en otras áreas de la tecnología, la orientación de los trabajos puede ser de tipo académico ( sea básica o aplicada ) o práctico. El segundo grupo incluye estudios que buscan soluciones particulares para casos específicos, cada uno de los cuales presenta problemas nuevos o poco vistos y puede requerir soluciones innovadoras, en general dependientes de programas muy amplios de recopilación y análisis de información de campo y de laboratorio. Dada la naturaleza única de cada caso estudiado, lo que se aprende de su estudio es difícil su aplicación directa a casos similares, y surgen dudas, frecuentes también en otras ramas de la ingeniería y la tecnología, sobre las fronteras entre investigación, desarrollo tecnológico y práctica de ingeniería de alto nivel.

Según algunos especialistas, nuestra investigación sobre problemas prácticos de la Ingeniería Ambiental es similar a la de los países industrializados. Según otros, la que se realiza en México se orienta con frecuencia a la solución de problemas en un plazo más corto o en una forma más puntual. El asunto debe estudiarse con cuidado, dadas las implicaciones que tiene en los criterios de asignación de recursos de investigación y en la evaluación de sus resultados. Como en otras áreas tecnológicas, el problema consiste en distinguir con claridad

entre las actividades que deben apoyarse con recursos de los programas orientados a crear y mantener una estructura científica y tecnológica de vanguardia, las que deberían financiarse con recursos de los interesados en resolver cada problema específico, y las que pertenecen al segundo grupo pero ameritan apoyo de los recursos para creación de infraestructura. Las políticas generales para decidir sobre casos del tercer grupo deberían partir de un diálogo entre los responsables de la política científica y tecnológica, y los que tienen a su cargo la solución de problemas específicos.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

A pesar de los grandes esfuerzos de los últimos años y de los indudables avances en los niveles académicos de nuestra investigación, no hemos logrado integrar un sistema tecnológico coherente. Ante la ausencia de estrategias y acciones en materia tecnológica por parte del sector productivo, las instituciones de educación superior y los centros de investigación y desarrollo tecnológico se mantienen como una capacidad poco aprovechada, con programas de trabajo basados más en los intereses y en las percepciones individuales de los investigadores, que en las posibles necesidades del sector citado. Es urgente encontrar mecanismos que estimulen el diálogo entre los sectores académico, oficial y productivo, a fin de que en forma conjunta definan sus estrategias tecnológicas. Esta definición es una de las condiciones para el establecimiento en cada sector de programas congruentes con los de los demás. Otra condición es el establecimiento de criterios coordinados para asignar recursos y para evaluar investigación y desarrollo tecnológico con distintas orientaciones.

La valoración académica del trabajo de investigación en ingeniería y tecnología amerita una revisión profunda. Algunas opiniones se inclinan a favor de establecer una alternativa al SNI, para este tipo de actividad, con reglas igualmente estrictas, pero basadas en valores más acordes con sus objetivos. Otras, favorecen mantener el sistema actual, pero aplicando a cada área o disciplina criterios congruentes con el tipo de actividades que se desea estimular. La definición de estos criterios, o de los relativos a la asignación de recursos a distintos tipos de actividades, debe darse en el marco de los mecanismos alternativos que tiene el país para resolver sus problemas tecnológicos.

Independientemente de la identificación de las actividades que conviene estimular, es necesario fortalecer entre los investigadores en ingeniería y tecnología, la cultura de publicaciones en revistas científicas y técnicas de nivel y circulación internacionales. También hay que promover la publicación en español de libros de texto, manuales, guías técnicas y procedimientos de diseño en ingeniería, y difundirlos entre nuestros profesionales y los de otros países de habla hispana.

La interacción multidisciplinaria y multiinstitucional entre los investigadores en ingeniería y tecnología, y la interacción entre los sectores académicos, oficial y productivo, son elementos insustituibles en el proceso de integración de un sistema tecnológico sólido, coherente, progresista y competitivo a nivel internacional. Debemos encontrar las formas que mejor nos permitan desarrollar y mantener ambos tipos de interacción.

### Reconocimiento.

El autor desea reconocer las valiosas aportaciones de los participantes en los grupos de trabajo y en la reunión de la Academia Nacional de Ingeniería en la que se presentaron las ideas principales en que se basa este trabajo. En particular, deseo agradecer la labor de Cristina Verde en la organización de las actividades mencionadas, así como a ella y a José Luis Fernández Zayas su revisión del manuscrito y sus múltiples sugerencias.

**APÉNDICE A**

1. La Investigación en Ingeniería Química en México: Un punto de partida. J. Alvarez C., Universidad Autónoma Metropolitana.
2. La Investigación en México en el Área de Automatización y Control. Jaime Alvarez G., Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, IPN.
3. Presente y Futuro de la Computación en México. M. Murray L., División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM.
4. La Investigación en Electrónica en México: Algunas Consideraciones. M. Lindig, Centro de Investigación Tecnológica en Computación, IPN.
5. Diagnóstico y Perspectivas de la Investigación y el Desarrollo Tecnológico en Materia de Agua. A. Aldama, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
6. Prospección de la Investigación en Ingeniería de Termofluidos en México. J. L. Fernández Zayas, Instituto de Ingeniería, UNAM.
7. Prospección de la Investigación en Agronomía en México. Leobardo Jiménez, Universidad de Chapingo.
8. Prospectiva de la Investigación en Ingeniería en el Área de Ciencias de la Tierra. Fernando Samaniego, División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM.
9. Desarrollo de los Materiales en México. Gabriel Torres Villaseñor, Instituto de Materiales, UNAM.
10. Prospección de la Investigación en Ingeniería Geotécnica en México. M. P. Romo, Instituto de Ingeniería, UNAM.
11. Prospección de la Investigación en Máquinas y Mecanismos. C. Beckwith, Centro de Investigación y Asistencia Técnica del Estado de Querétaro.

FUNDACIÓN ICA es una Asociación Civil constituida conforme a las leyes mexicanas del 26 de octubre de 1986, como se hace constar en la escritura pública número 21,127, pasada ante la fe del Notario Público número 33 del Distrito Federal, inscrita en el Registro Público de la propiedad en la sección de Personas Morales Civiles bajo folio 12,847. A fin de adecuar a las disposiciones legales vigentes los estatutos sociales estos fueron modificados, el 17 de octubre de 1994, como se hace constar en la escritura pública número 52,025, pasada ante la fe del Licenciado Jorge A. Domínguez Martínez, Notario Público número 140 del Distrito Federal.

Es asimismo, una institución científica y tecnológica inscrita en el Registro Nacional de Instituciones Científicas y Tecnológicas del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, con el número 93/213; que fue renovado, el 19 de julio de 1995, con el número 95/213.

Esta edición de "Presente y Futuro de la Investigación en Ingeniería en México". Comentarios a un simposio de la Academia Nacional de Ingeniería, se terminó en septiembre de 1995. Se imprimieron 1,000 ejemplares. La edición estuvo al cuidado de Fernando O. Luna R.

## Consejo Directivo de la Fundación ICA

### Presidente.

Ing. Bernardo Quintana Isaac

### Vicepresidentes.

Dr. José Sarukhán Kérmez

Dr. Guillermo Soberón Acevedo

Ing. Guillermo Guerrero Villalobos

Ing. Raúl López Roldán

### Director Ejecutivo.

Ing. Fernando O. Luna Rojas

### Comité de Becas.

Ing. José Manuel Covarrubias Solís

Dr. Francisco Yeomans Reyna

Ing. Miguel Ángel Parra Mena