

Las ciencias de la ingeniería en la UNAM

Breve historia

Formalmente, en la UNAM se empezó a hacer investigación en ingeniería en 1957, al crearse la División de Investigación de la que entonces se llamaba Escuela Nacional de Ingenieros y que poco después, cuando empezó a impartir grados de Doctor, se convirtió en la Facultad de Ingeniería. A la División citada se le designó como Instituto de Ingeniería, aunque tal categoría dentro de la estructura académica de la UNAM no la adquirió sino hasta 1976, cuando se separó administrativamente de la Facultad y se convirtió en Instituto autónomo integrado al Subsistema de la Investigación Científica. A partir de entonces la investigación en la Facultad de Ingeniería se ha desarrollado en sus divisiones de enseñanza profesional y de posgrado. Actualmente realizan investigación en ingeniería otras dependencias de la UNAM, pero en menor escala que las que se citan arriba.

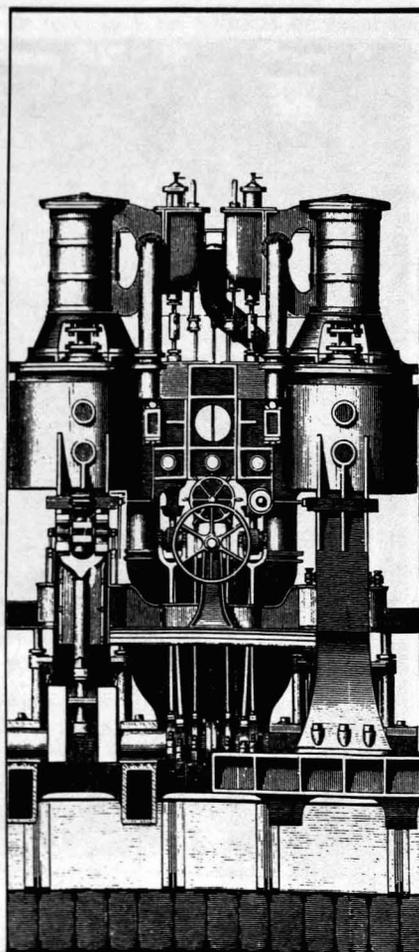
Orientación

Como investigación universitaria, la que se realiza en el área de Ingeniería en la UNAM tiene como finalidades ampliar y mejorar los conocimientos, criterios y métodos de la ingeniería, así como contribuir a la formación de personal capaz de aplicar los conceptos citados y participar en su desarrollo. Desde el principio, en los programas de investigación en ingeniería de las dependencias universitarias se presta especial atención a las actividades más estrechamente vinculadas con las necesidades actuales de

la ingeniería nacional y las previsible para el futuro. Dichos programas han cubierto tanto la investigación fundamental y aplicada como el desarrollo tecnológico y el análisis de las necesidades sociales a cuya solución puede aportar la ingeniería. Como consecuencia de esta política, algunos proyectos de investigación universitarios son financiados con recursos que la UNAM otorga, y otros, mediante apoyo de otros organismos o contratos de investigación con las entidades o empresas interesadas.

Tanto bajo el punto de vista de los

resultados que busca, como de su papel en la formación de personal de altos niveles técnico y académico, la investigación en ingeniería se interesa mucho más que las de otras disciplinas por las aplicaciones a corto plazo y para las condiciones socioeconómicas, técnicas y culturales de nuestro país. Esta orientación ha determinado el tipo de proyectos que normalmente se desarrollan, así como los medios que se emplean para difundir los resultados y los lectores a los que se trata de alcanzar. A diferencia de quienes investigan en ciencias básicas, quienes lo hacen en ingeniería no siempre consideran como la conclusión más deseable de un proyecto de investigación la difusión de sus resultados a la comunidad internacional mediante su publicación en una revista especializada. Para muchos investigadores en ingeniería el estímulo más poderoso es la posibilidad de hacer trascender sus resultados a corto plazo a las aplicaciones. Esos investigadores adoptan con frecuencia como medio preferido para difundir sus resultados los manuales de práctica profesional o los informes técnicos orientados a aplicaciones específicas. Esto ha ocasionado una divergencia de visiones entre quienes enfatizan la importancia de aportar al conocimiento universal y quienes prefieren dedicar sus esfuerzos a generar conocimientos o metodologías aplicables a corto plazo en nuestro medio o a adaptar para los mismos fines las tecnologías desarrolladas en otros países. Los debates que sobre este asunto se han realizado no han bastado para establecer criterios para obtener un equilibrio óptimo entre las actividades que se realicen en cada una de estas direcciones,



* Director del Instituto de Ingeniería, UNAM.

pero el autor considera que en la UNAM actual, ante el México actual, debe aumentarse el peso relativo de las actividades que ofrezcan mayores posibilidades de conducir a innovaciones a mediano plazo, sin descuidar la posibilidad de trascender a corto plazo en la solución de problemas de ingeniería relevantes en nuestras condiciones actuales.

Áreas de investigación

La importancia del vínculo entre quienes investigan en ingeniería y quienes aplican sus resultados se ha manifestado en la UNAM en la elevada correlación entre el grado de desarrollo de sus grupos de investigación en áreas específicas y la disposición a la innovación de sus contrapartes en los sectores productores de bienes y servicios, sean oficiales o privados. Así, mientras la interacción entre una ingeniería civil mexicana, abierta a la búsqueda de soluciones propias, y los programas de los correspondientes grupos de investigación ha propiciado la consolidación de dichos grupos, lo escaso del interés que en diversas áreas de la industria nacional ha manifestado por estimular las aportaciones locales a su desarrollo tecnológico ha desalentado el crecimiento y la maduración de los correspondientes grupos. Para contrarrestar estas tendencias, se han adoptado en las dependencias de la UNAM políticas de apoyo especial a estos grupos, pero dichas políticas no han bastado para suplir el vínculo entre investigación e industria.

El desarrollo, los logros, los problemas y las perspectivas de la investigación en ingeniería en la UNAM son diversos, de acuerdo con el área. A continuación se presenta una visión panorámica de las principales áreas y sus logros y al final se discuten en forma conjunta los problemas y perspectivas.

Ingeniería Estructural

Esta área fue una de las primeras en desarrollarse, en gran parte debido a la ocurrencia del temblor de 1957, que afectó a las ciudades de México y Aca-pulco, y a la consecuente necesidad de

revisar normas y procedimientos de construcción resistente a temblores.

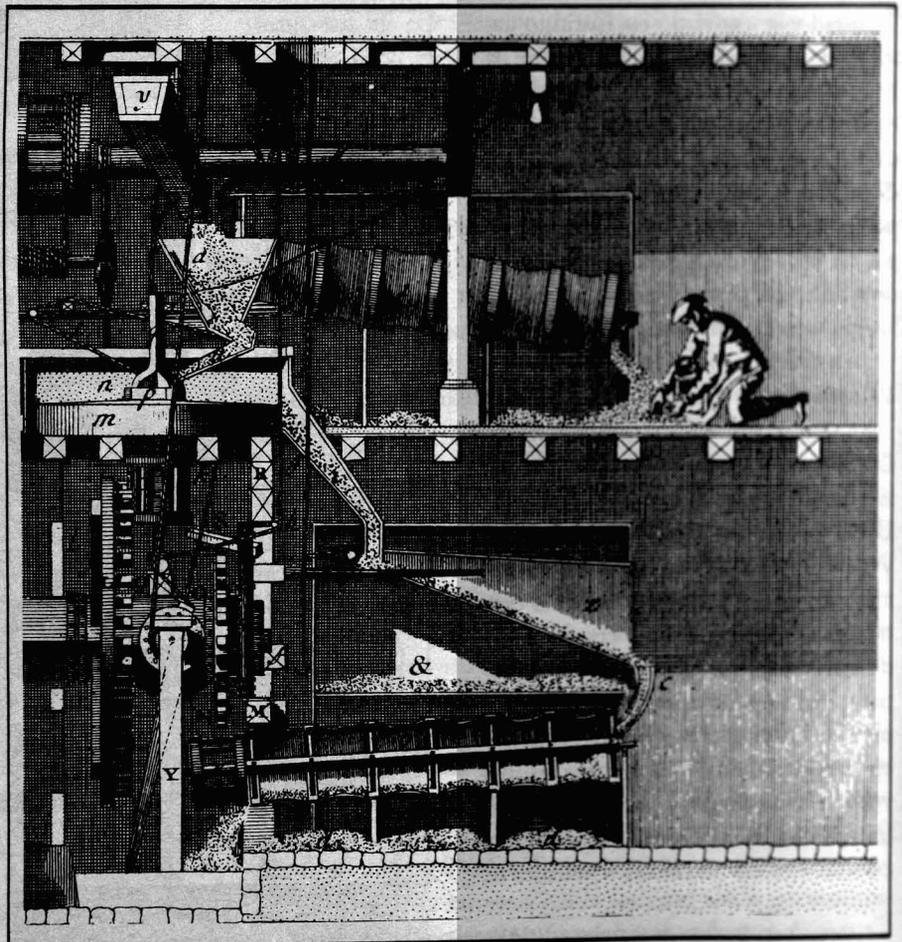
Entre otros conceptos, se ha dedicado atención a la determinación de las intensidades y distribuciones espaciales de las principales cargas permanentes fluctuantes sobre las construcciones, incluyendo tanto las debidas a su peso propio como las que provienen de su uso (mobiliario, vehículos en puentes, vibraciones de maquinaria); al estudio de las acciones accidentales que pueden afectar a las construcciones (temblores, vientos) y de las formas en que éstas pueden responder; a las leyes que definen el comportamiento de materiales y miembros estructurales ante cargas que simulan las que pueden presentarse en la realidad; a los modelos matemáticos y métodos de análisis para predecir la respuesta estructural ante diversos tipos de cargas; y al análisis de la incertidumbre asociada con los conceptos anteriores y de su influencia en la seguridad de las construcciones, así como de los valores de cargas y resistencias para adoptarse en el diseño, de los factores de seguridad y de los métodos y criterios de

control de calidad requeridos para lograr niveles óptimos de seguridad.

Las aportaciones de la UNAM en esta área han ejercido una influencia determinante en la evolución de las normas y la práctica de la ingeniería nacional. Como ejemplos pueden citarse el desarrollo de criterios para diseño sísmico de edificios con muros de mampostería, la revisión de los criterios para diseño de sistemas de losas planas, la regionalización sísmica de la República Mexicana y la microrregionalización del Valle de México, así como las revisiones de diversos reglamentos de construcción y la formulación de manuales y ayudas de diseño para la práctica de la ingeniería.

Geotecnia

Las investigaciones en esta área se orientan a definir criterios y procedimientos para diseño y construcción de cimentaciones y de estructuras térrreas (muros de retención, terraplenes, presas de tierra y enrocamiento), para el análisis de la seguridad de taludes naturales (suelo o roca), o para la ejecución de excavaciones a cielo abierto o



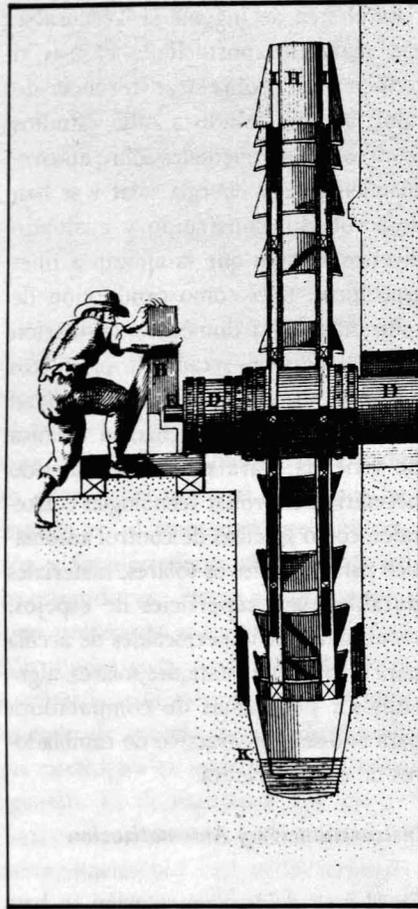
en túneles. Entre los problemas importantes aborda los relacionados con las excepcionalmente difíciles condiciones que presentan las cimentaciones de edificios en la arcilla del Valle de México, así como los que se refieren a la respuesta sísmica de suelos y estructuras térreas.

Para atender los problemas anteriores se realizan investigaciones teóricas y experimentales sobre la estructura y el comportamiento mecánico de suelos naturales y compactados, finos y granulares, así como de enrocamientos; se desarrollan métodos de análisis y diseño estático y dinámico de túneles y presas, así como procedimientos para evaluar las deformaciones que sufren estas obras; se estudia en campo y en modelos el comportamiento estático y dinámico de cimentaciones superficiales, profundas y piloteadas, incluyendo la interacción suelo-estructura durante temblores, y se desarrollan métodos de análisis y diseño; se estudian los problemas de respuesta sísmica de presas de tierra y enrocamiento, incluyendo el problema de interacción embalsamento; y se analizan teóricamente los problemas de agrietamiento en suelos causados por fuerzas de filtración en cortinas, túneles y otras estructuras. Para estos fines se han desarrollado e implantado programas de computadora capaces de analizar sistemas complejos y se ha diseñado y construido equipo de laboratorio y de campo para pruebas especiales.

Gran parte de las estructuras importantes de tierra en el país se han diseñado y construido bajo normas y procedimientos derivados de los resultados de investigaciones realizadas en la UNAM. Lo mismo puede decirse de la microrregionalización sísmica del Valle de México y la práctica de la ingeniería de cimentaciones en el mismo.

Vías Terrestres

Las investigaciones en esta línea han estado orientadas casi exclusivamente a carreteras y aeropistas, y han tenido gran influencia en la práctica nacional sobre el diseño geométrico de las mismas y sobre el proyecto de las superficies de rodamiento, así como sobre los



criterios de evaluación de condiciones de servicio y las políticas de mantenimiento. Para ello han desarrollado métodos confiables de evaluación *in situ* y en laboratorio, se han diseñado y construido los equipos e instrumentos requeridos y se han aplicado al estudio de un gran número de casos de interés práctico. Entre éstos se encuentra la primera pista circular que se construyó en el mundo para realizar pruebas de pavimentos de carreteras a escala natural, el laboratorio móvil para ensayos de campo equipado con instrumentos diseñados ex-profeso para determinar la rugosidad longitudinal de pavimentos, así como los correspondientes criterios de prueba y análisis de resultados.

Hidráulica, Hidrología e Hidromecánica

Bajo este encabezado se agrupan varias disciplinas que, aunque de naturaleza diversa, en la práctica suelen participar en la solución de problemas relacionados con el aprovechamiento de los recursos hidráulicos o con la construcción de obras de protección ante riesgos

relacionados con la acción de masas de agua (inundaciones, socavación, presiones hidráulicas, estáticas y dinámicas).

Se tratan, entre otros conceptos, la hidráulica fundamental, incluyendo algunos problemas como el transporte de sólidos en tuberías o el desarrollo de la capa límite tridimensional; los estudios teóricos o experimentales sobre fenómenos transitorios, tales como golpe de ariete, tránsito de avenidas en redes de colectores y de canales, o distribución de tirantes y velocidades a lo largo del cauce de un río; y problemas especiales de estructuras hidráulicas, tales como cavitación, turbulencia y vibraciones. También se estudia la Hidrología, tanto superficial como subterránea, incluyendo, en la primera, aspectos relativos a la relación lluvia-escurrimiento, al análisis hidrológico de cuencas semi-desérticas y a las técnicas de predicción de avenidas basadas en redes telemétricas y, en la segunda, el desarrollo de modelos matemáticos de flujo tridimensional en medios porosos, con aplicaciones a estudios de explotación y contaminación de acuíferos, predicción de hundimientos provocados por bombeo, y simulación de yacimientos geotérmicos. Se cubren también la Hidráulica Fluvial; que analiza la resistencia al flujo en cauces aluviales, el arrastre y acorazamiento en lechos con granulometría extendida, el transporte de sedimentos y la estabilidad de cauces; la Hidráulica Marítima, incluyendo temas como predicción de oleaje, diseño de escolleras, estabilidad de lechos marinos por efectos de oleaje, socavación y protección al pie de rompeolas y transporte litoral; y la Hidráulica Agrícola, que estudia problemas relacionados con las operaciones de riego, así como políticas de uso óptimo del agua.

Entre las aportaciones importantes de la UNAM en esta área se encuentran los métodos para el cierre de cauces de ríos, los procedimientos para determinar la avenida de diseño de vertedores de excedencia, los criterios de diseño y técnicas para el control de ríos y diseño de pilas de puentes, y los modelos de acuíferos. También se ha establecido una metodología para el control del golpe de ariete en grandes acueductos y para reducir los problemas de resonan-

cia relacionados con las turbinas de las plantas hidroeléctricas.

Ingeniería ambiental

En esta área los esfuerzos se han concentrado principalmente en problemas de tratamiento de agua, y en mucho menor escala en los de contaminación atmosférica. En la primera línea se ha trabajado en el tratamiento de agua potable, incluyendo métodos convencionales y avanzados para la remoción de compuestos y elementos tóxicos, químicos y biológicos; el control de la contaminación del agua subterránea, que incluye problemas tales como el transporte de contaminación en la zona no saturada y en los acuíferos, la recarga natural y artificial de éstos y la protección ambiental de cuerpos de aguas superficiales (ríos, lagunas, embalses, etc.), a fin de recomendar acciones orientadas a reducir el impacto ambiental producido por el desarrollo de diversas obras.

Por su importancia en las aplicaciones para tratamiento de agua, destacan el diseño, construcción y evaluación experimental de biodiscos para el tratamiento de aguas residuales o los procedimientos para el tratamiento de aguas de desecho de industrias altamente contaminantes, como plantas de procesamiento de nixtamal o ingenios azucareros.

Ingeniería Mecánica y Térmica

El desarrollo de estas áreas se inició en 1966, y se ha beneficiado menos que las descritas arriba de la interacción con un medio externo interesado en el desarrollo de tecnología local. A pesar de ello, pueden citarse muchos ejemplos de aplicaciones exitosas de resultados de investigación en estas áreas.

En Ingeniería Mecánica los esfuerzos se han concentrado en los estudios teóricos y experimentales requeridos para el diseño y evaluación de mecanismos para uso en procesos industriales, así como de máquinas rotatorias, compresores y bombas de desplazamiento positivo. También se ha trabajado en el diseño de dispositivos para disipación de energía sísmica en edificios.

En el área de Ingeniería Térmica se han realizado aportaciones básicas al conocimiento sobre transferencia de calor, se han llevado a cabo estudios teóricos y experimentales sobre aprovechamiento de la energía solar y se han desarrollado, construido y evaluado diversos equipos que la aplican a fines específicos, tales como producción de calor industrial y doméstico, destilación de agua de mar, secado de productos agrícolas, incremento de la comodidad en edificaciones y adecuación térmica de vivienda. Para estos fines ha sido necesario desarrollar tecnologías colaterales, como sistemas de control automático para dispositivos solares, materiales durables para superficies de espejos, recubrimientos impermeables de arcilla para el fondo de estanques solares, algoritmos y programas de computadora para el diseño interactivo de cambiadores de calor, etcétera.

Instrumentación y Automatización

En el área de Instrumentación se han desarrollado dispositivos electromecánicos y electrónicos destinados a la medición, registro y procesamiento de variables, con aplicaciones en procesos industriales y en observaciones en proyectos de investigación experimental. Entre las aportaciones recientes destaca el diseño, construcción y calibración de prototipos de acelerógrafos digitales para registrar el movimiento del terreno durante temblores. En breve esos instrumentos se emplearán en las redes que con esta función operarán en el país.

El área de Automatización aborda problemas de teoría de control (simulación por computadora, optimización, sistemas operativos en tiempo real, robótica) y su aplicación al desarrollo de algoritmos con fines específicos. Se han resuelto problemas de modelación, simulación y control, de diseño de bases de datos, protocolos de comunicación y equipo de apoyo (convertidores A/D y D/A, actuadores, sensores, etcétera) que complementan la tarea principal del control por computadora. Entre las aplicaciones importantes se encuentran el desarrollo de un controlador universal industrial, el desarrollo de criterios

óptimos para operación de centrales hidroeléctricas, el establecimiento de sistemas automatizados de información hidrológica y de sistemas para el control de redes urbanas de suministro de agua potable o drenaje.

Ingeniería de Sistemas

En esta área se estudia la interacción entre los diversos sectores que integran los sistemas socioeconómicos, bajo el punto de vista de su significado en la toma de decisiones relacionadas con sistemas de ingeniería. Los temas que se estudian se han agrupado en varias líneas: teoría de sistemas, inteligencia artificial, planeación, prospectiva, transporte, análisis y diseño de organizaciones, e investigación interdisciplinaria de desastres.

En teoría de sistemas se trabaja en el desarrollo de métodos y técnicas para la solución óptima de problemas de ingeniería. Junto con la inteligencia artificial se trabaja en ingeniería del conocimiento y sistemas expertos. Su objetivo es avanzar en el desarrollo de la metodología, teoría, modelos y técnicas relacionados con la solución de problemas de ingeniería mediante sistemas expertos computarizados. Ello implica profundizar en áreas tales como ciencias cognoscitivas, representación e ingeniería del conocimiento, lógicas deductiva e inductiva, solución heurística de problemas, tratamiento formal de la incertidumbre, solución de problemas a través de expertos, análisis semántico y diseño de interfases apropiadas para los usuarios.

Se ha trabajado en la metodología para la planeación de sistemas microrregionales, con aplicaciones a planeación urbana, desarrollo rural, planeación sectorial y diagnóstico socioeconómico. En la línea de prospectiva, han recibido atención los problemas de explotación racional de recursos, educación y desarrollo de parques tecnológicos. Los estudios sobre transporte se han orientado a conocer los factores que afectan la problemática de ese sector en México y a contribuir a su solución mediante el desarrollo de mejores métodos de diagnóstico y planeación.

La investigación interdisciplinaria de

desastres tiene como fin sentar las bases para diseñar e implantar sistemas de protección y restablecimiento de los asentamientos humanos frente a desastres, de manera de mitigar sus consecuencias en el desarrollo social y económico. Se contribuye en dos campos principales: la teoría de desastres y la ingeniería para lidiar con ellos. La primera se refiere al desarrollo del marco conceptual, a las metodologías para planear y organizar la prevención y atención de emergencias, los procedimientos de evaluación y pronóstico de daños, y las técnicas para elaborar escenarios. La ingeniería de desastres aplica los conceptos anteriores a problemas específicos.

Aparte de haber realizado aportaciones importantes a la teoría, la UNAM ha participado activamente en el estudio de los desastres recientes más graves en el país (la erupción del volcán Chichonal, el temblor de 1985, el huracán Gilbert) y ha formulado recomendaciones para prevención y manejo de eventos similares. Recientemente inició

actividades en el campus de Ciudad Universitaria el Centro Nacional de Prevención de Desastres, organismo mixto con funciones de investigación, educación y capacitación.

Problemas y perspectivas

A pesar de caer en lugar común, no puede hablarse de los problemas del desarrollo de las Ciencias de la Ingeniería en la UNAM sin mencionar en primer lugar las dificultades que el deterioro de los salarios del personal académico ha causado en el mantenimiento, renovación y fortalecimiento de la planta de investigadores. Entre otras formas, estos problemas se evidencian por las dificultades para consolidar las áreas académicas más jóvenes y por el bajo número de estudiantes de doctorado que participan en actividades de investigación. Es de esperarse que los esfuerzos recientes de las autoridades universitarias por encontrar mecanismos que permitan incrementar a niveles

decorosos las percepciones del personal más productivo contribuyan a captar y mantener dentro del sistema de investigación universitaria en general, y en Ingeniería en particular, a los estudiantes y profesionales con más interés y capacidad para dicha actividad. Ello complementará las políticas cada vez más estrictas que se han adoptado para evaluar las labores académicas del personal.

Conviene reflexionar sobre las políticas de apoyo a líneas de investigación que ofrecen resultados aplicables en el país a corto plazo y aquellas que ayudan a consolidar la capacidad innovadora en el futuro. Para apoyar las primeras suelen conseguirse sin excesiva dificultad recursos extra-universitarios, pero ello es bastante más difícil para las segundas. Los programas de apoyo especial a la investigación de excelencia implantados por la DGAPA en 1989 servirán para corregir este desbalance, así como para consolidar las áreas de investigación menos maduras.

La interacción académica entre los investigadores de la UNAM en ingeniería y los de otras instituciones de prestigio ha sido menor que lo deseable, particularmente en los últimos años, en parte por el énfasis que se ha puesto en la solución de problemas a corto plazo, en parte por los costos que implica tal interacción. Sin embargo, el recordar que la UNAM debe ir adelante del desarrollo del país, a fin de ayudarlo a escoger rumbo, debe servir para reforzar políticas de interacción académica que estimulen el flujo de conocimientos, enfoques y políticas de los grupos que son líderes en el mundo.

Recordemos, para concluir, las preocupaciones que usualmente se manifiestan sobre la insuficiente liga entre las actividades académicas de escuelas, facultades, centros e institutos que trabajan en las mismas áreas. En el área de Ingeniería se han establecido programas formales de interacción entre diversas dependencias para corregir esta deficiencia. Los resultados han sido positivos, pero insuficientes. ◇

El autor agradece la crítica y las ideas de José Luis Fernández Zayas y Óscar Fuentes Mariles.

