

Portada: "*Cloud Word*", estudio de frecuencias de palabras
que aparecen en los títulos de las ponencias en las mesas.
HACIA DÓNDE VA LA CIENCIA EN MÉXICO.
Realizado por Centro Geo.

HACIA DÓNDE VA LA CIENCIA EN MÉXICO
Ingeniería

HACIA DÓNDE VA LA CIENCIA EN MÉXICO
Ingeniería

Adalberto Noyola

Coordinador



MÉXICO, 2014

Primera edición, 2014

D.R. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
Av. Insurgentes Sur 1582
Colonia Crédito Constructor
México, D. F.
ISBN Colección: 978-607-8273-01-0
ISBN Volumen: 978-607-8273-06-5

D.R. Academia Mexicana de Ciencias, A. C.
Los Cipreses S/N
Pueblo San Andrés Totoltepec
México, D. F.
ISBN Colección: 978-607-96209-8-1
ISBN Volumen: 978-607-8379-04-0

D.R. Secretaría Ejecutiva del Consejo Consultivo de Ciencias
San Francisco 1626-305
Colonia del Valle
México, D. F.
ISBN Colección: 978-607-9138-08-0
ISBN Volumen: 978-607-9138-13-4

haciadondevalaciencia@ccc.gob.mx
haciadondevalaciencia.org

Impreso en México, 2014
Printed in Mexico

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra –incluido el diseño tipográfico y de portada– sea cual fuere el medio, electrónico o mecánico, sin el consentimiento por escrito de los editores.

ÍNDICE

Presentación	
HACIA DÓNDE VA LA CIENCIA EN MÉXICO	9
1. Introducción	
<i>Adalberto Noyola</i>	13
2. La ingeniería en México. Devenir, estado actual y perspectivas	
<i>Jesús Álvarez Calderón</i>	19
3. Ingeniería civil en México: Futuros deseables en investigación, práctica profesional y formación de cuadros	
<i>Daniel Reséndiz Núñez</i>	33
4. Problemas tecnológicos actuales y futuros de la industria petrolera	
<i>Vinicio Suro Pérez</i>	49
5. El futuro de la ingeniería mecánica y sus carreras derivadas	
<i>Jesús Manuel Dorador González</i>	65
6. Biotecnología ambiental en México: Retos y desafíos	
<i>Elías Razo Flores</i>	75
7. Semblanzas de los autores	87
8. Líneas de acción para el futuro de la ingeniería en México	91

9. Créditos del programa	
HACIA DÓNDE VA LA CIENCIA EN MÉXICO	101
10. Instituciones de adscripción de los participantes.	109

PRESENTACIÓN

HACIA DÓNDE VA LA CIENCIA EN MÉXICO

En febrero de 2012, la Academia Mexicana de Ciencias, AMC, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Conacyt, y el Consejo Consultivo de Ciencias de la Presidencia de la República, CCC, decidieron realizar un proyecto para analizar el estado de la ciencia mexicana en el mundo a fin de detectar áreas de oportunidad para el mejor desarrollo de la misma y obtener propuestas específicas para la mayor contribución de ellas al avance nacional.

Con ese propósito en mente, el proyecto consideró pertinente usar la palabra ciencia para describir las actividades de investigación y desarrollo practicadas de manera seria y sistemática en todos los campos del saber. Decidió, asimismo, organizar conjuntamente –dentro del marco del Convenio Tripartita AMC-Conacyt-CCC que les une–, un conjunto amplio de mesas redondas en alrededor de 30 áreas del conocimiento vistas desde tres perspectivas diferentes: la académica o disciplinar, la tecnológica o instrumental, y la sectorial o de aplicación.

Para ello se conformó un Comité Organizador, mismo que invitó a sesenta reconocidos especialistas en todas las áreas del conocimiento para que, cada uno de ellos, organizase al menos una mesa redonda sobre un tema específico en la que participasen otros cuatro especialistas a fin de cubrir de mejor manera cada tema y obtener visiones diferentes sobre el mismo. Se insistió, asimismo, en que para cada tema se diesen al menos dos mesas redondas: una en el área metropolitana del Valle de México y otra fuera de ella. Esto es, se procuró recabar la visión de las personas que trabajan fuera del centro del país.

En la mayor parte de los casos la respuesta fue no sólo positiva sino entusiasta; ha habido casos en que los invitados propusieron más mesas sobre un tema, e incluso ocasiones en que se propusieron diversas mesas en torno a temas no considerados inicialmente. Así, hasta el momento de la impresión de este volumen se han llevado a cabo 95 mesas redondas.

Este proyecto generó gran interés en la sociedad. A las mesas asistieron varios miles de personas.

Por la relevancia y riqueza de las ideas y propuestas que surgieron de la mesas redondas, el Conacyt, la AMC y el CCC decidieron publicar una serie de libros que presentan el panorama de hacia dónde va y debe ir la ciencia en México.

HACIA DÓNDE VA LA CIENCIA EN MÉXICO
Ingeniería

INTRODUCCIÓN

*Adalberto Noyola**

De acuerdo con el Informe de Competitividad Global 2012-2013 del Foro Económico Mundial (*The Global Competitiveness Report, World Economic Forum*) México se encuentra en el lugar 68 de 144 países en el índice de inversión en infraestructura. Al respecto, en la primera década de este siglo se ha visto una tendencia creciente de inversión al pasar de 3% del producto interno bruto (PIB) en 2000 a 4.6% en 2012. A finales del pasado mes de abril se presentó el Programa Nacional de Infraestructura 2014-2018 el cual incluye seis sectores estratégicos que recibirán 7.7 millones de millones de pesos, cifra nunca tan alta, con participación de recursos públicos y privados. Estos sectores son 1) comunicaciones y transportes, 2) energía, 3) hidráulico, 4) salud, 5) desarrollo urbano y vivienda y 6) turismo. Además, el Programa señala a la región Sur-Sureste como prioritaria para estas inversiones.

En este contexto, se vislumbran retos importantes para la ingeniería en México que deberán ser atendidos, en buena medida, por los profesionales mexicanos. Para poder estar a la altura de las expectativas nacionales es necesario reflexionar sobre el papel que las diversas disciplinas de la ingeniería han jugado y el que deberán tener en el futuro. En tal sentido, es una tarea urgente identificar los temas prioritarios y las acciones que deberán realizarse para fortalecer a la ingeniería mexicana y con ello, incrementar su aportación al desarrollo del país y al bienestar de la sociedad. Asimismo, es necesario fortalecer la planeación de la investigación en ciencia básica, ciencia aplicada, desarrollo tecnológico e innovación a nivel nacional, estatal y

* Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

regional; así como apuntalar la formación de recursos humanos de alto nivel en las áreas donde México tiene mayores fortalezas y oportunidades en el marco de un desarrollo basado en el conocimiento.

Con el fin de contribuir a esta urgente discusión nacional, este libro incorpora las reflexiones de cinco reconocidos expertos en diversas áreas de la ingeniería quienes presentan –con base en las tendencias actuales– los principales retos que se identifican dentro de algunas disciplinas de la ingeniería; tales como civil, petrolera, mecánica y la biotecnología ambiental.

Para situarnos dentro de un contexto general del tema, Jesús Álvarez Calderón –de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa– presenta sus reflexiones sobre la evolución, situación actual y perspectiva de la ingeniería mexicana. Introduce el tema mediante una breve reseña sobre la evolución de la ingeniería en México desde la época colonial hasta la actualidad. Señala que en las diferentes etapas de la historia de México las escuelas de ingeniería han generado lo que –de manera implícita o explícita– la sociedad les ha requerido. Destaca que si bien en la actualidad se cuenta con el sistema científico-tecnológico mejor logrado en la historia del país, este aún no ha contribuido significativamente a la innovación y el desarrollo tecnológico si se mide mediante su impacto en el sector productivo.

La ingeniería civil en México goza de gran tradición y reconocimiento. Aun así, ante signos de un descenso en el interés de los jóvenes por matricularse en esta carrera es necesario identificar los ajustes necesarios en la formación de ingenieros civiles para atender mejor los requerimientos de la práctica profesional y la investigación en la materia. Sobre este tema, en el segundo capítulo, Daniel Reséndiz Núñez –del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México– identifica algunas debilidades que aquejan la enseñanza y la práctica de esta rama de la ingeniería. En particular, analiza la baja eficiencia terminal, la escasa oferta de programas de educación superior cortos y la insuficiente matrícula de posgrado. Si bien sus señalamientos pueden aplicarse en varios campos del desarrollo profesional, Reséndiz Núñez enfatiza que en la enseñanza de la ingeniería civil se deben corregir las lagunas e insuficiencias de nuestro sistema educativo y cuidar el vínculo entre investigación, práctica profesional y formación de cuadros. Dentro del contexto nacional, su recomendación

es: impulsar la modelación matemática computarizada; profundizar la investigación sísmica; desarrollar materiales autorreparables; investigar en temas ingenieriles relacionados con la sostenibilidad; y desarrollar campos geotécnicos experimentales.

La industria petrolera es la más importante del país en términos de riqueza generada, además de ser estratégica y claramente vinculada con la soberanía y la seguridad nacional. Al abordar los problemas tecnológicos actuales y futuros de la industria petrolera, Vinicio Suro Pérez –del Instituto Mexicano del Petróleo– presenta un análisis sobre dos grandes rubros: la industria extractiva en la exploración de hidrocarburos (*aguas arriba*) y la de su transformación mediante su refinación (*aguas abajo*). Resalta que es necesario mejorar la vinculación de la investigación con el sector productivo con base en un ejercicio serio y ambicioso de planeación estratégica que permita tomar ventaja del crecimiento. En su análisis, Suro Pérez identifica varias líneas de investigación que deben ser atendidas para fortalecer la competitividad de la industria petrolera mexicana; tanto en la fase de exploración-producción como en la de refinación.

La ingeniería mecánica es otra disciplina que ha contribuido en forma decidida al progreso del país. En el cuarto capítulo, Jesús Manuel Dorador González –de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México– aborda este tema con énfasis en las carreras derivadas de la evolución de la ingeniería mecánica moderna. Señala que es indispensable apoyar la creación de grupos interdisciplinarios e interinstitucionales para potenciar el desarrollo de las diversas ingenierías, con base en la mecánica, al aprovechar sus capacidades, conocimiento y entusiasmo para encontrar aplicaciones en el desarrollo científico y tecnológico del país. Entre las oportunidades que identifica se encuentran: la ingeniería de manufactura enfocada al diseño de herramental, mejora de procesos y diseño para ensamble y manufactura; la ingeniería de materiales, con énfasis al uso de materiales compuestos y materiales plásticos; la ingeniería de diseño mecatrónico, dirigida al diseño de productos y diseño de maquinaria y equipo; los termofluidos, en particular el control de emisiones y el modelado de flujos de fluidos y partículas; y la mecatrónica con atención a la automatización industrial, control industrial de procesos y robótica.

El impacto del desarrollo económico ha tenido manifestaciones negativas en el medio ambiente y en la conservación de los recursos naturales y la biodiversidad. En este contexto se ubica el tema del último capítulo donde, Elías Razo Flores –del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica– analiza la aplicación de la biotecnología ambiental para el control de la contaminación y el aprovechamiento de residuos en México.

Su énfasis se dirige hacia el recurso agua; aspecto de seguridad nacional, el cual no ha recibido la debida atención en las últimas décadas. Destaca la contaminación de los cuerpos de agua –superficial y subterránea– y la pronunciada escasez en varias zonas altamente pobladas del país. Razo Flores propone como acciones estratégicas: aplicar un enfoque integral en la producción y uso sustentable de recursos naturales; crear un marco regulatorio e incentivos fiscales; lograr el desarrollo institucional en el cual se formen grupos multidisciplinarios en temas prioritarios, proyectos piloto y demostrativos; y crear programas intersectoriales con objetivos y metas a mediano y largo plazos.

De las aportaciones de los autores se desprende un consenso de que las ingenierías deben jugar un papel estratégico para dar viabilidad al Plan Nacional de Desarrollo al contribuir en el incremento del PIB y a la calidad de vida de la población mexicana. Esto sólo puede lograrse mediante la investigación científica, el desarrollo tecnológico, la innovación, la expansión, la modernización y la conservación de sus infraestructuras. De manera destacada, se debe atender la formación y especialización de más y mejores profesionales de la ingeniería para lograr la debida articulación del sistema de generación de conocimientos con el sistema de producción de bienes y servicios.

En este contexto, es indispensable el incremento de las capacidades de investigación y desarrollo actuales. Esto significa no solo aumentar la plantilla de investigadores, técnicos y estudiantes, sino también los recursos económicos y de infraestructura asociados a esas tareas; por lo que se considera de importancia estratégica la creación y fortalecimiento de centros de investigación de carácter multidisciplinario en diversas áreas de la ingeniería que cuenten con equipos de última generación y donde profesionales expertos desarrollen temas prioritarios capaces de impulsar las competencias en ciencia y tecnología del país.

Esas instituciones tendrían por objeto incrementar las capacidades de investigación y desarrollo del país; preparar recursos humanos de alto nivel en el desarrollo de la investigación básica y aplicada relacionada con problemas de la ingeniería; y generar y transferir tecnologías competitivas e innovadoras al sector productivo. Todo ello al tiempo de fomentar la colaboración entre diversos grupos de investigación líderes en sus áreas para así potencializar sus resultados.

LA INGENIERIA EN MEXICO. DEVENIR, ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS

*Jesús Álvarez Calderón**

Según el diccionario de la lengua española (2001) ingeniería es el “estudio y aplicación, por especialistas, de las diversas ramas de la tecnología”; y tecnología es el “conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico”. El *American Heritage Dictionary of the English Language* (2014) señala que ingeniería es “la aplicación de principios científicos y matemáticos a fines prácticos tales como el diseño, la producción y operación de estructuras económicas eficientes, maquinaria, procesos y sistemas” (*The application of scientific and mathematical principles to practical ends such as the design, manufacture, and operation of efficient and economical structures, machines, processes and systems*). El vocablo ingeniero-ra tiene su raíz en ingenio (del latín *ingenium*) que es la “facultad del hombre para discurrir o inventar con prontitud y facilidad”; o la “intuición, entendimiento, facultades poéticas y creadoras” (DRAE, 2001).

Por su naturaleza, la ingeniería es una actividad eminentemente humanista en el sentido que se preocupa por el ser humano y su bienestar; por lo que su cultivo y aplicación requieren de la inventiva y trabajo coordinado de grupos de personas. En el ejercicio de la ingeniería intervienen aspectos técnicos, económicos y humanos. La ingeniería se integra por diferentes quehaceres que abarcan, (I) el ejercicio profesional en los sectores productivo, social y gubernamental; (II) el desarrollo tecnológico en el sector industrial y los centros de desarrollo tecnológico; (III) la investigación

* Unidad Iztapalapa, Universidad Autónoma Metropolitana.

en las ciencias de la ingeniería en las instituciones de educación superior (IES), en centros de ciencia y desarrollo tecnológico (CYDT) y en algunas empresas del sector privado o público con capacidad de gestión y decisión tecnológica; y (IV) la formación de recursos humanos en todos los niveles, licenciatura, posgrado, especialidades y diplomados.

El desarrollo de la ingeniería está fuertemente vinculado a la investigación científica. Históricamente, las revoluciones científica e industrial son eventos que se han nutrido y afectado mutuamente. La ciencia y la ingeniería tienen como común denominador el método científico y difieren en su teleología.

La ciencia enfatiza el entendimiento y a la ingeniería le preocupa resolver. Las tendencias mundiales establecen que cada vez la ingeniería es más científica y racional en el sentido de que a más entendimiento mejores soluciones. Debido a esto, cada vez hay más ramas de la ingeniería que se intersectan con ramas que tradicionalmente han sido del dominio de los científicos y viceversa.

Como antecedentes históricos de la ingeniería mexicana, sin pretender ser exhaustivos y precisos, nos limitaremos a citar y comentar algunos acontecimientos y eventos de diferentes épocas.

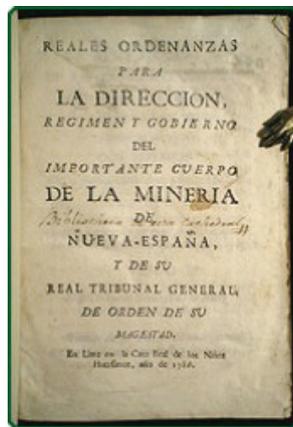
ANTECEDENTES HISTÓRICOS

La Colonia

Si bien los hechos científicos y tecnológicos durante la Colonia fueron escasos, esporádicos y aislados existen notables excepciones en disciplinas como la astronomía, la herbolaria, la química, la ingeniería civil y la minería. El proyecto de educación universitaria se inició en el siglo XVI con la fundación de la Real y Pontificia Universidad de México y con el establecimiento de colegios y seminarios a cargo del clero secular y de diversas órdenes religiosas, donde destaca la labor de los jesuitas. A finales del siglo XVIII, estos últimos fueron expulsados de todas las colonias españolas y con ellos se extinguió una buena parte de la actividad científica.

Un antecedente obligado para la ingeniería es la fundación, en 1792, del Real Seminario de Minería como parte de las reformas Borbónicas

inspiradas por el pensamiento ilustrado y que daba respuesta a las demandas concretas para la extracción y beneficio de minerales. El Seminario inició con cuatro catedráticos de tiempo completo quienes recibieron entrenamiento especializado en Europa. El Seminario cumplía con dos funciones; tribunal y arbitraje: para reclamaciones, deslindes y litigios de minas, análisis y valoración de minerales y monedas; y asesoría y participación en desarrollos tecnológicos: para la modernización de la industria minera. Como reflejo del interés renovado de la comunidad científica –en particular del Seminario– destacan las visitas y estancias de los exploradores y naturistas Alexander Von-Humboldt y Alejandro de Malaspina.



Fuente: Acervo histórico del Palacio de Minería.

Figura 1. Ordenanzas de Minería dictadas por Carlos III en 1763.

La Independencia y la República restaurada

Durante el periodo que abarca los años 1810 hasta 1880 México vivió una gran inestabilidad política debida a conflictos internos y a las guerras con potencias extranjeras. Debido a su naturaleza científica y moderna, que venía bien a las ideas ilustradas de la Independencia, el Seminario de Minería siguió su marcha. Con el triunfo y consolidación de los liberales se liquidó el sistema colonial de educación superior; la Pontificia Universidad fue cerrada y abierta varias veces en diversas formas; en 1910 se reorganizó bajo el nombre

de Universidad Nacional de México y el Seminario o Colegio de Minería se convirtió, en 1868, en la Escuela Nacional de Ingenieros. Durante el Porfiriato, los egresados de la Escuela Nacional de Ingeniería encontraban ocupación no sólo en la extracción y beneficio de minerales, sino también en obras de ingeniería civil, construcción de vías de ferrocarril, mantenimiento de trenes, en la industria textil y en la entonces incipiente extracción de petróleo.



Fuente: Litografía de Casimiro Castro, 1864.

Figura 2. Palacio de Minería.

Una muestra de cierto interés en insertar al país en el círculo de la ciencia mundial lo constituye el poco conocido viaje, que patrocinó el presidente Sebastián Lerdo de Tejada, realizado por un equipo de ingenieros mexicanos al mando de Francisco Díaz Covarrubias con la finalidad de estudiar el paso del planeta Venus frente al disco solar ocurrido el nueve de diciembre de 1874. La expedición inició en Veracruz en septiembre de 1874 con el objetivo de alcanzar cualquier país asiático para la observación; se decidió finalmente llegar a Japón. Además de la publicación y difusión internacional de las mediciones astronómicas, la expedición tuvo importantes implicaciones en la ciencia mexicana.

Por un lado, se sentaron las bases para la creación del Observatorio Astronómico Nacional y con ello se inicia la moderna tradición astronómica

mexicana; y por otro, miembros de la expedición llegaron a puestos importantes en el gobierno e imprimieron visiones y acciones que influyeron en la creación de sociedades científicas y de instituciones de investigación. Cabe mencionar que la expedición fue criticada por un grupo de opositores al gobierno del presidente Lerdo de Tejada que argumentaban un mal uso de recursos que deberían dedicarse a otras urgencias nacionales.

A principios del siglo xx, la Escuela Nacional de Ingenieros pasa a ser parte de la naciente Universidad Nacional de México fundada como una nueva institución con ideas modernizadoras y abiertas al progreso científico, técnico y humanista; no como una prolongación de la Real y Pontificia Universidad asociada al pensamiento conservador y disuelta por los liberales.

La industrialización y el desarrollo estabilizador

La industrialización del país, propiamente dicha, inicia en la década de los años treinta durante el gobierno de Lázaro Cárdenas. Bajo una estrategia de modelo de desarrollo la ciencia, la tecnología y la cultura eran concebidas como elementos indispensables dentro del esquema de progreso para el país. Las tecnologías y el capital industrial provenían casi en su totalidad del extranjero. Sin embargo, surgió una demanda de ingenieros para labores de operación supervisión y mantenimiento. Con esta experiencia, el avance profesional del ingeniero se orientó hacia puestos de administración y dirección donde el aspecto técnico de la ingeniería era solo un punto de partida y ante todo formativo.

En este marco, las universidades mexicanas circunscribían sus programas de ingeniería casi exclusivamente a la impartición de cursos. Estos eran dictados por profesores de asignatura, cuya principal actividad era el ejercicio profesional que se daba fuera de la universidad. Este modelo de universidad, con pocos profesores de tiempo completo y muchos por asignatura, contrasta con el esquema de profesores de tiempo completo con el que el Real Seminario de Minería funcionaba; por lo que no puede uno evitar la siguiente comparación: la razón de ser del Real Seminario de Minería obedecía a una

de Estado –modernización tecnológica a la luz de los adelantos científicos y del espíritu de la Ilustración– de la Corona española; mientras que las universidades del período de industrialización tenían como función la capacitación; primero, de operadores técnicos y luego, de administradores industriales en el entendido de que el desarrollo tecnológico venía del extranjero.

Indudablemente los ingenieros mexicanos jugaron un papel importante en la operación y el desarrollo de la nacionalizada industria del petróleo. Como una respuesta a la demanda de ingenieros para el desarrollo del país se creó, durante el gobierno de Lázaro Cárdenas, el Instituto Politécnico Nacional (IPN). En este período los egresados de las escuelas de ingeniería encontraban trabajo en muy diversos ámbitos: infraestructura civil, comunicaciones, petróleo, electricidad, actividades ligadas al desarrollo del sector salud, etcétera.

Profesionalización de la investigación

En la década de los años sesenta, como parte de una estrategia de desarrollo adoptada por muchos gobiernos de América Latina y auspiciada por la Organización de las Naciones Unidas, el gobierno mexicano establece que el creciente pago por regalías tecnológicas requiere de una respuesta de Estado: el desarrollo de capacidades de gestión y negociación tecnológica con contrapartes nacionales para la asimilación, dominio y eventual generación de conocimiento en ramas estratégicas como el petróleo, la electricidad, la energía nuclear y el sector salud.

Como consecuencia se crearon, en 1956 la Comisión Nacional de Energía Nuclear, que desde 1979 es el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ); el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) en 1964; el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) en 1971; el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) en 1975; varios institutos dentro del sector salud; el sistema de institutos de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Asimismo, en 1974 se funda la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) con el modelo de profesor-investigador de tiempo completo.

El Conacyt fue pensado como el organismo encargado de promover y regular las actividades de ciencia y tecnología; y se da inicio a una vigorosa

actividad en un cuello de botella evidente: la escasez de recursos humanos con posgrados en ciencia e ingeniería para la realización de los planes de desarrollo de las diversas instituciones recién creadas. Paralelamente, algunas de las IES públicas más importantes dieron los primeros pasos para que en su seno se diera la actividad de investigación en los posgrados de ingeniería; en el entendido de que la investigación y los posgrados en ciencias contaban ya con experiencia en esta dirección.

Estas acciones llevaron, naturalmente, a la profesionalización de la carrera académica en varios espacios de algunas universidades públicas, en el sentido de que –como es práctica común en Europa y Estados Unidos y lo fue originalmente en el Real Seminario de Minería– el profesor o catedrático congregado en un cuerpo académico realiza de tiempo completo actividades de docencia e investigación.

Apertura y globalización

El denominado período de apertura y globalización se inicia en México con su entrada al Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio, GATT (por sus siglas en inglés, *The General Agreement on Tariffs and Trade*) en 1985 y la firma del Tratado de Libre Comercio en 1993. El país pasa de una etapa de economía cerrada orientada al consumo interno –la sustitución de importaciones con buena disponibilidad de tecnologías– a una economía abierta con un mayor grado de competencia y con mayores restricciones en la adquisición de tecnologías.

La industria nacional se ve inmersa en una corriente mundial de producción que apunta hacia la calidad, la eficiencia y la innovación tecnológica. Algunas empresas nacionales con cierta capacidad de decisión tecnológica vislumbran que dichos retos requieren de un replanteamiento de la estrategia tecnológica, dentro de la cual hay un papel importante de los grupos de investigación y desarrollo.

Se creía que, al igual que en los países desarrollados, las fuerzas del mercado operarían para generar la demanda de infraestructura material y humana para entrar en una nueva fase de desarrollo tecnológico. Este

paradigma impulsó acciones como la creación del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) en 1984; los procesos de evaluación y revisión de los programas de licenciatura y posgrado en las ingenierías y el impulso a esquemas de vinculación universidad-empresa. En aquel tiempo, la investigación estaba básicamente concentrada en las IES públicas y las instituciones privadas tenían posgrados más bien dirigidos a la administración.

SITUACIÓN ACTUAL

La creación de posgrados en ingeniería ha sido consecuencia de políticas de modernización de la plantilla docente de las escuelas de ingeniería. Esto incluye los procesos de evaluación con asignación de recursos; por un lado de la Secretaría de Educación Pública (SEP) y del Conacyt y por otro, del SNI que evalúa, clasifica y remunera a los investigadores en ingeniería. En estos procesos de evaluación y apoyo, el contar con cuerpos académicos habilitados significa tener entre sus miembros una cierta proporción de integrantes del SNI.

Después de veinte años, encontramos una mayor cantidad de investigadores y de programas de posgrado que incluyen segmentos con habilitación de nivel internacional. Si bien la creación y consolidación de estos recursos inicialmente obedecieron a las políticas de evaluación y esquemas de financiamiento de las IES por parte de la SEP, del Conacyt y del SNI –y de alguna demanda esporádica de algunos centros de investigación públicos y privados– la mayor parte de los graduados de los programas de posgrado tienen como destino principal el propio sistema de IES del país.

El SNI por sí solo parece propiciar el crecimiento de los posgrados y de su matrícula. Así, un posgrado se convierte en un medio necesario para el desarrollo de los investigadores del sistema. Esto se debe a que la promoción de los investigadores a los niveles II y III requiere, como condición necesaria, la dirección de tesis y la formación de recursos humanos en los niveles de posgrado.

En relación a la parte del sistema de ingeniería que se dedica a la investigación hay una creciente preocupación por el uso y abuso de

la denominación *ingeniería*. Por ejemplo, en la creación de programas de posgrado con perfiles que no son congruentes con el espíritu y la formación en ingeniería; en la conformación del núcleo académico que soporta a dichos programas; en la composición de la Comisión Dictaminadora (área VII) del SNI, con una proporción minoritaria de investigadores que –por origen o evolución formativa– representen el paradigma formativo de la ingeniería que es diferente del de las ramas aplicadas de las ciencias básicas.

Si bien el concurso de los científicos básicos en la docencia en ingeniería, en todos los niveles, es un ingrediente fundamental para una formación moderna en ingeniería, de ninguna manera formaciones y perfiles mayoritariamente de ciencias básicas aplicadas (física y química principalmente) pueden asumir funciones críticas de evaluación de individuos y de los programas de posgrado en ingeniería; esto trae implicaciones de efecto inmediato en paradigmas de la ingeniería, modelos y estilos de investigadores, investigaciones y posgrados en ingeniería.

En las escuelas de ingeniería, la vinculación escuela-industria es un elemento que se ha enfatizado en los procesos de evaluación. Ciertamente, es difícil concebir una escuela de ingeniería desvinculada de la sociedad en general y de las necesidades del sector productivo en particular. Abusos en las estrategias de vinculación en combinación con los problemas antes mencionados, en cuanto al perfil de investigadores y programas de posgrado en ingeniería, han llevado al crecimiento de programas de posgrado con los denominados sufijos.

En estos programas se da un énfasis desmedido en la participación de los estudiantes en proyectos de investigación orientados a la aplicación de técnicas analíticas para la generación de datos, a costa de la formación en fundamentos y contextos de la ingeniería. Esto hace que muchos posgrados tengan una alta dosis de trabajo especializado tipo diplomado, especialización u oficio y presentan dos problemas: (I) el mercado mexicano no es tan especializado, lo que puede resultar una limitante para los egresados al momento de buscar empleo; y (II) la ausencia de formación en los fundamentos y los contextos propios de las disciplinas de la ingeniería es una seria limitante en la calidad de los egresados.

Si se reconoce que la investigación y los investigadores en las escuelas de ingeniería constituyen *per se* ingredientes deseables para llevar a cabo una mejor docencia y que, por lo tanto, esto justifica un cierto número de posgrados preferentemente ligados a programas de licenciatura, es preocupante que: (I) estos insumos docentes y formativos para las escuelas de ingeniería sean aprovechados prácticamente sólo por las mismas instituciones que los formaron; y (II) que la demanda por parte del sector productivo de investigadores egresados de los posgrados sea muy baja. Esto último, con el agravante de que en los últimos cuatro años algunos centros emblemáticos de investigación y desarrollo, privados y públicos, han entrado en crisis, con recorte de personal o han desaparecido.

La esperada demanda por parte del sector productivo no llegó a materializarse y todo parece indicar que no existen estrategias efectivas en esa dirección, ni en el sector industrial público ni en el privado. Esto plantea una situación paradójica; por un lado se cuenta con un sistema de investigación en las IES y en los centros de ciencia y desarrollo tecnológico (CYDT) del gobierno donde se estimula y premia la generación de artículos de investigación y de formación de estudiantes de posgrado que se traducen en la creación de nuevos posgrados y nuevos investigadores –que hasta ahora han encontrado acomodo en las propias IES y centros CYDT– y por otro lado, la mayor parte de las firmas de ingeniería mexicana han quebrado o se han redimensionado y reorientado a otras actividades; muchos de los centros CYDT o están en crisis, seriamente cuestionados o han desaparecido.

Supuestamente la nueva ley de ciencia y tecnología va a confrontar y resolver el problema. Sin embargo, a pesar de aumentos a los fondos (Conacyt-secretarías de Estado y modernización tecnológica, entre otros) con dinero público para la innovación y fortalecimiento tecnológico de empresas públicas y privadas: (I) no se perciben efectos en las actividades de investigación aplicada en ciencia e ingeniería del país; (II) se observa que la canalización de recursos públicos se realiza bajo criterios y destinos nada claros. Lo más grave, es que no se advierten ni planes, ni estrategias de desarrollo de innovación y desarrollo tecnológico en el sector productivo. Tenemos una comunidad relativamente pequeña, por

lo que es difícil pensar que las cosas sucedan de manera discreta y callada en materia de investigación y desarrollo tecnológico.

A diferencia de otras etapas que se dieron en México en el pasado, en el presente no parece existir un plan nacional para la investigación científica y tecnológica acorde a una estrategia de desarrollo como país. Pareciera que son las fuerzas del mercado las que de manera natural actúan y regulan tales actividades, en un contexto sin políticas de Estado que orienten, motiven e incentiven la profesionalización de las actividades de investigación y desarrollo tecnológico en el sector productivo. En las frecuentes reestructuraciones de los pocos centros y grupos de investigación y desarrollo tecnológico industrial del país es práctica común reducir proyectos, planes y personal.

La realidad es que, en relación al tamaño de la economía y de la matrícula de posgrado del país, el sector productivo tiene muy pocos grupos de investigación y desarrollo; y contrata pocos egresados de los posgrados. La perspectiva no es muy alentadora para los jóvenes investigadores mexicanos que egresan de los posgrados nacionales y extranjeros: la demanda de personal calificado en ciencia y tecnología es muy baja; hay escasez generalizada de empleos; predominan los empleos de baja calificación y mal remunerados; y hay una creciente y preocupante proporción de emigrantes con formación universitaria que incluye a egresados de nuestros posgrados.

Si bien el Estado mexicano ha logrado en los últimos treinta años desarrollar y consolidar, con fondos públicos, los posgrados y la investigación en las IES y en sus centros de CYDT; no ha logrado que se desarrollen las contrapartes en el sector productivo público y privado. Si suponemos que el Estado quisiera resolver este problema, habría que tener en mente que la existencia de cultura y masa crítica de personal profesionalizado en las empresas son condiciones necesarias para la generación de vínculos efectivos entre las IES y las empresas. Asimismo, se deberían impulsar actividades que demanden investigación y desarrollo tecnológico en el sector productivo; promover una estrategia de desarrollo que tenga como prioridad desarrollar en el país una componente con actividad intensiva en conocimiento, generación de productos y servicios de alto valor agregado y empleos mejor remunerados.

De no ocurrir cambios, los posgrados y la investigación dejarán de tener sentido y posiblemente entren, en el mejor de los casos, en un período de cuestionamiento y revisión o de abandono y deterioro paulatino en el peor de los casos.

CONCLUSIONES

Se pueden señalar como las conclusiones más importantes: a) que la plantilla de investigadores académicos e industriales del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) ha aumentado y continúa en crecimiento. En otras palabras, se han invertido recursos en la formación de una parte necesaria del aparato científico-tecnológico del país; b) paradójicamente, en la última década han desaparecido –o entrado en crisis– tanto firmas de ingeniería como centros de investigación y desarrollo tecnológico, privados y estatales; c) hasta ahora, la mayor parte de los investigadores formados en las ciencias de la ingeniería tienen como destino las instituciones de educación superior (IES) como parte de estrategias de mejora de los procesos educativos.

Una vez satisfecha esta demanda no queda claro el destino de los egresados de los posgrados nacionales, incluyendo programas de reciente creación; y por último, d) a diferencia de otros momentos, actualmente no hay coherencia entre las acciones en educación, ciencia y tecnología y el tipo de modelo de desarrollo que el país ha adoptado.

En otros tiempos, el país contaba con visiones, estrategias y decisiones de Estado en materia de ciencia y tecnología. En el presente –a pesar de la recientemente promulgación de la nueva Ley de Ciencia y Tecnología– en general los investigadores y las escuelas de ingeniería perciben que no se ven las directrices, ni la visión, ni las acciones, ni los recursos relacionados con dicha Ley. Ante estos hechos, la comunidad científico-tecnológica de ingeniería ha reaccionado con creciente desilusión y escepticismo o indiferencia.

REFERENCIAS

- Engineering. En [ahdictionary.com](http://www.ahdictionary.com/word/search.html?q=engineering) (2014) The American Heritage Dictionary of the English Language. Consultado en <http://www.ahdictionary.com/word/search.html?q=engineering>
- Ingeniería. En Real Academia Española (2001). Consultado en *Diccionario de la lengua española* (22.a ed.). Consultado en <http://buscon.rae.es/drae/srv/search?id=trx5DxzrxDXX2XTXCBUh>
- Ingenio. En Real Academia Española (1992). Consultado en *Diccionario de la lengua española* (21.a ed.) p. 1166. España: Espasa Calpe, S. A.
- Tecnología. En Real Academia Española (2001). Consultado en *Diccionario de la lengua española* (22.a ed.). Consultado en <http://buscon.rae.es/drae/srv/search?id=ySoh55WGaDXX2xvVnSqu>

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, J. (1995). Experiencias de vínculos entre instituciones de educación superior en centros de investigación y desarrollo tecnológico y el sector industrial en México. En Mulás, P. (Coord.) *Aspectos tecnológicos de la modernización industrial de México*, México: Fondo de Cultura Económica-Academia de la investigación Científica-Academia Nacional de Ingeniería.
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (2002). *Informe General del Estado de la Ciencia y la Tecnología*. México: Conacyt.
- Díaz y de Ovando, C. (1998). *Los Veneros de la Ciencia Mexicana*, tomos I, II y III. México: Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Maraboto, L. E. (1995). Presente y Futuro de la Investigación en Ingeniería en México. En Fortes, M. y Gómez, C. (Eds.) *Retos y perspectivas de la ciencia en México*. México: Academia de la Investigación Científica.
- Moreno Corral, M.A. (2003). *Odisea 1874 o el primer viaje internacional de científicos mexicanos*. Colección la Ciencia para Todos. México: Fondo de Cultura Económica.
- Trabulse, E. (1987). *Historia de la Ciencia en México*. México: Fondo de Cultura Económica-Conacyt.

INGENIERÍA CIVIL EN MÉXICO: FUTUROS DESEABLES EN INVESTIGACIÓN, PRÁCTICA PROFESIONAL Y FORMACIÓN DE CUADROS

*Daniel Reséndiz Núñez**

PARA QUÉ OCUPARSE DEL FUTURO

Cada vez que pienso en el porvenir recuerdo una observación de Russell Ackoff: “Sólo tiene sentido ocuparse del futuro si es para diseñarlo”, dijo en una de las muchas reuniones que académicos y funcionarios públicos teníamos con él en el Instituto de Ingeniería hace 40 años. La frase es aún para mí un axioma. En esos años Ackoff (1974) publicó uno de los más influyentes libros sobre el tema mientras otros pensadores contribuían también al arte de diseñar el futuro; entre ellos Donald A. Schon (1971) y Wladimir M. Sachs (1980). Los tres coincidían en que las similitudes y diferencias que se observan en las trayectorias hacia el futuro de distintos países no son casuales ni inevitables, sino buscadas (y por tanto corregibles).

Hoy llaman la atención sobre todo las similitudes, quizá porque en el camino de la globalización muchos países se han sentido obligados a delegar en alguien más el diseño de su futuro. Desde entonces mucho se ha escrito sobre la rica variedad de futuros posibles: Masini y Galtung (1979); Goodland, Daly, El Serafy y von Droste (1991); Paepke (1993); Fossaert (1994); Galbraith (1996); entre otros. En México la Fundación Javier Barros Sierra ha sido la principal promotora de la prospectiva; ver por ejemplo su visión de varios sectores nacionales al año 2030 (véase el portal de la Fundación).

* Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Alonso Concheiro (2009) diseñó un escenario futuro de la ingeniería que es rico en imágenes de lo que puede esperarse. Sobre los aspectos educativos del tema ver la prospectiva al 2025 de Reséndiz (2000) y sobre su entorno cultural y tecnológico ver la de Elizondo y Reséndiz (2000) al 2030.

El futuro es asunto colectivo por necesidad. Pensar en diseñarlo revela de inmediato que no hay uno, sino muchos futuros posibles debido a las infinitas trayectorias que pueden seguirse a partir de hoy. Actos y omisiones de innumerables sujetos en el pasado y el presente modifican la inercia y el curso de los fenómenos sociales y naturales e influyen en dichas trayectorias. Entre los futuros posibles unos serán más deseables que otros, por lo que deberá sopesarse cada uno y elegir. En esto consiste el diseño del futuro.

Se me pide una propuesta de futuro deseable para la investigación en ingeniería civil en México. Esta más bien debiera resultar de un esfuerzo colectivo pues una propuesta personal puede aspirar a ser, cuando más, razonable y quizá más tarde sea susceptible de consensuarse. Con esta expectativa en mente, pido que en este contexto se juzguen y discutan tanto mis premisas como los resultados a que arribaré. Para construir mi propuesta usaré un método explícito inspirado en el de los autores aludidos al inicio de este escrito.

EL MÉTODO

Seguiré los siguientes cinco pasos:

- a) Delimitar el sistema y los subsistemas de la ingeniería civil;
- b) identificar fuerzas motoras o agentes portadores de futuro que más pueden influir en la evolución de la ingeniería civil como sistema;
- c) reconocer los medios que pueden servirnos para influir sobre la evolución futura del sistema definido en el primer paso;
- d) averiguar de qué depende la efectividad o eficacia de tales medios; y
- e) pasar de los futuros posibles a los deseables y al futuro elegido.

EL SISTEMA Y LOS SUBSISTEMAS DE LA INGENIERÍA CIVIL

Definición y delimitación del sistema

Todo objeto de estudio que evoluciona es un sistema compuesto no de partes aisladas, sino de subsistemas interconectados por circuitos de realimentación mutua. Plantear así el problema exige un enfoque multidisciplinario que no consiste en descomponer el problema en partes más simples –susceptibles de ser abordadas cada una por una disciplina distinta– y finalmente adoptar como solución el agregado de las soluciones parciales, sino en que un grupo conocedor del sistema de interés y de la teoría de sistemas trabaje en equipo para resolver el problema como un todo.

Para influir sobre el futuro de la ingeniería civil, vista como sistema, hay que incluir en ella al menos los siguientes subsistemas: el de investigación, que es el motivo expreso de este ejercicio; el de la práctica profesional, porque es mediante esta que la investigación puede influir en el desarrollo del país; y el de educación, porque de él dependen la suficiencia y calidad futuras de investigadores e ingenieros. Cada subsistema es influido por los otros dos y quizá por factores externos, pero supondremos que los efectos deseables o indeseables del exterior pueden controlarse con cambios intencionales en los tres subsistemas indicados; si no fuera así tendríamos que ampliar el sistema al incluir subsistemas suficientes hasta lograr tal control, sin abarcar tanto que su complejidad torne inútil el ejercicio.

En cualquier caso, aquí se supone que el futuro de la ingeniería civil depende de lo que se haga en sus subsistemas de investigación, práctica profesional y formación de cuadros.

Fortalezas y debilidades

Hay debilidades y fortalezas en los tres subsistemas de la ingeniería civil definidos en el párrafo anterior. La fortaleza principal proviene de una tradición nacida en el Real Seminario de Minería de 1792 (Reséndiz, 2010); consiste en crear y mantener, a partir del subsistema de educación

y formación de cuadros, vínculos fuertes entre este, la investigación y la práctica profesional. Aunque no en otros campos, en el de la ingeniería civil sí se conserva esta estrecha vinculación lo que crea círculos virtuosos que realimentan y refuerzan mutuamente las tres actividades. Así se ha logrado dar continuidad a líneas de investigación ligadas a numerosos problemas nacionales y se ha contribuido a que el país cuente con servicios de ingeniería y construcción internacionalmente competitivos.

Con la fundación del Instituto de Ingeniería de la UNAM en 1956 se consolidó esta forma de trabajar. Nuestras líneas con mayor tradición son: la ingeniería de suelos blandos, el diseño sísmico de edificaciones, la hidrología, la mecánica de materiales granulares y la ingeniería de presas térreas y de enrocamiento.

Cada una responde a alguno de los siguientes problemas nacionales: a) el progresivo hundimiento del Valle de México, los peculiares problemas de cimentación en la ciudad de México, la recurrencia en ella de grandes inundaciones –por dos ‘pecados originales’: la destrucción de la infraestructura hidráulica de la Gran Tenochtitlan y la expansión de la urbe hacia la zona lacustre–; b) la pérdida de vidas humanas y bienes materiales por los sismos que nos azotan, amplificadas por los singulares depósitos lacustres subyacentes en gran parte de la ciudad; y c) la necesidad de construir en todo el país represas grandes y seguras –unas para almacenar agua en las regiones donde escasea; otras para controlar avenidas destructivas en aquellas donde llueve demasiado; y en ambas regiones para abastecer a la población, irrigar tierras agrícolas y generar electricidad–.

Nuestras mayores contribuciones científicas al saber universal se han dado en esas mismas líneas de investigación y el reconocimiento internacional de tales contribuciones ha sido un subproducto no expresamente buscado. El que la investigación haya estado relacionada con problemas prácticos facilitó que la sociedad mexicana y sus líderes, con frecuencia renuentes a reconocer la importancia de la actividad científica, valoraran el contar con cuadros especializados dispuestos a colaborar en cuestiones de interés general.

Las mayores debilidades del sistema residen en tres aspectos específicos de nuestra educación superior: baja eficiencia terminal, insuficiente matrícula de posgrado y escasa oferta de programas de educación superior

cortos. Hay ciertos avances en las dos primeras, pero no en la última. Faltan programas de educación superior –adicionales a las licenciaturas y más cortos que estas– pues toda economía moderna requiere no sólo ingenieros y profesionales similares, sino también técnicos superiores en los más diversos campos del saber-hacer que puedan formarse en múltiples programas educativos mucho menos largos; cada uno enfocado a una especialidad y susceptibles de revalidarse a voluntad como parte de un programa largo.

La productividad de toda economía moderna necesita dos o tres de dichos técnicos por cada profesional con licenciatura o posgrado. Hoy tal necesidad se satisface mal, pues se empuja hacia esas ocupaciones a desempleados o desertores de la licenciatura sin darles la formación especial requerida. En el mundo desarrollado hay sistemas de educación superior con esa misión específica.

En México se cuenta con sistemas similares, pero se les estigmatiza al argüir que sus programas no dan formación integral; en tal juicio hay tanto apreciaciones incompletas como soslayos, pues: a) la misión de la educación superior es tender a la especialización creciente, hasta el extremo del doctorado; y b) como en todo el mundo, en México la formación integral se da desde la educación básica hasta la media-superior y culmina en esta (ver al respecto en la sección *La educación* pag. 39). En Estados Unidos la elite intelectual creó conciencia en la sociedad acerca de este problema y sus múltiples facetas hace más de 60 años; así, tras la Segunda Guerra Mundial, el *G. I. Bill of Rights* y las recomendaciones de la *Truman Commission* en 1947 lograron la espectacular y exitosa diversificación de la educación superior de ese país mediante la multiplicación de programas cortos, que hoy responden por 50% de su matrícula total de educación superior.

El éxito de México dependerá de que: a) se corrijan las tres debilidades indicadas; b) el nuevo conocimiento generado por la investigación se incorpore de inmediato a la práctica de la ingeniería y la enriquezca; c) la fortaleza de la práctica profesional fomente la investigación; y d) la formación de cuadros atienda las necesidades de los tres subsistemas y en ella participen el subsistema educativo, el de investigación y el de la práctica profesional. Un escenario con estos subsistemas desligados es indeseable

porque impediría orientar el futuro tanto del sistema en conjunto como de cada una de sus partes.

Más allá de la ingeniería civil, México ha creado grupos e instituciones de investigación en muchas áreas del saber; aunque en lo cuantitativo estas son todavía insuficientes, producen ya conocimiento relevante para resolver multitud de problemas prácticos. En cambio, en todos los sectores de la administración pública y privada faltan cuerpos técnicos capaces de interactuar con los científicos para fines de interés mutuo. Toca al gobierno y a la iniciativa privada llenar esas lagunas a la vez que el subsistema nacional de investigación crece en sincronía con los intereses y necesidades estratégicas de la nación.

FUERZAS MOTRICES O AGENTES PORTADORES DE FUTURO

La evolución tecnológica siempre ha sido causa continua de cambios sociales, pero nunca con la intensidad actual. Hoy el cambio tecnológico es tan acelerado que vuelve más inciertos cualesquiera escenarios futuros que imaginemos. Ante esto, los escenarios en sí mismos pierden importancia; lo dominante es la certeza de que seguirán los cambios, pero ignoramos cuáles y cuándo. Por mucho, el agente de cambio más significativo de nuestra época –la fuerza que todo lo transforma– es el crecimiento exponencial del cambio tecnológico. Por otra parte, las fronteras entre naciones han perdido importancia para muchos fines prácticos pues la globalización impide lidiar con el cambio tecnológico país por país.

Uno de los sistemas que más de inmediato resulta afectado es la ingeniería, en todas sus ramas y procesos; conceptos, diseños, maquinaria y métodos para la práctica de la ingeniería cambian al unísono en todo el mundo pese a diferencias obvias en las condiciones locales y nacionales.

Ahora bien, los beneficios netos del cambio tecnológico son evidentes: enormes incrementos en la producción de bienes y servicios a costos mucho menores que en el pasado; aceleración y simplificación de las comunicaciones y el transporte; modos más variados de interacción humana; nuevas modalidades educativas; más información con alcance, rapidez y libertad

mayores; etcétera. A la vez, esto introduce en la sociedad cambios continuos y acumulativos que perturban un ámbito de la vida tras otro hasta generar crisis; es decir, estados de equilibrio inestable y vuelcos súbitos (Schon, 1971).

Ejemplos: dilapidación de recursos, desempleo, concentración de la riqueza, fallas masivas en redes de servicios (eléctricas, de transporte y telecomunicaciones); quiebras y fraudes en instituciones financieras supuestamente confiables e incluso en países enteros; etcétera. Las crisis se suceden o traslapan y cada una exige respuesta pronta so pena de provocar otra mayor. Esta dinámica cambia con tal rapidez el presente y el futuro que deja perplejos a todos.

MEDIOS PARA INFLUIR SOBRE EL FUTURO

La educación, la previsión estratégica y la transformación de las instituciones son medios probados con los que podemos influir sobre el futuro. Revisémoslos:

La educación

Son pertinentes tanto la educación escolarizada como la basada en el ejemplo, el convencimiento y la emulación. La de nivel superior tiene ligas más directas con la ingeniería, pero también influye en esta la educación básica ya que repercute en la calidad de todos los demás niveles educativos; por eso invertir atinadamente en educación básica suele ser la mejor manera de beneficiar al país entero.

La educación media-superior es crucial por ser la última oportunidad de que todos los jóvenes entiendan al mundo, al ser humano y los problemas sociales con una visión integral desde las ciencias, las humanidades y las artes. No dar tal visión en el nivel medio-superior priva de la misma –también a los graduados de la educación superior– al país de profesionales cultos, capaces de entender los problemas más complejos.

En la educación no escolarizada, la de carácter ético, es importante por sus efectos en la convivencia social y la calidad de vida colectiva.

Nadie se libra de las consecuencias de que los demás respeten o no las normas éticas. Como la emulación es inevitable, quienes más influyen para bien y para mal en la moralidad de un país son los personajes de mayor visibilidad pública: políticos, altos funcionarios y líderes o individuos destacados de cualquier actividad (deportistas, artistas, intelectuales, etcétera).

La previsión estratégica

Este tipo de previsión se basa en los ejercicios prospectivos que todo Estado moderno debe realizar a partir de los intereses y propósitos nacionales de largo plazo. Su fin es lograr ciertos objetivos estratégicos como la independencia política y la disponibilidad continua de recursos vitales para toda la población (agua, alimentos, energéticos, etcétera). Las previsiones relativas a la ingeniería deben encuadrarse en tal visión estratégica.

La transformación de las instituciones

El futuro exigirá organizaciones públicas y privadas con ciertos atributos que dependerán de los escenarios que imaginemos a diversos plazos. Según Schon (1971) el más valioso de tales atributos será la capacidad de cada organización para procesar su propia experiencia, aprender sobre la marcha y así cumplir continuamente su misión.

Estas transformaciones pueden ser necesarias en todas las instituciones, no sólo en algunas y quienes las operen requerirán tanto conocimiento especializado como actitudes y capacidades éticas; sin cierto nivel mínimo de desempeño en ambos aspectos, no hay futuro que pueda considerarse deseable (Walsh, 2012). Si tal transformación de las instituciones y los individuos es oportuna, se podrá ganar la carrera a los efectos perturbadores que la aceleración del cambio tecnológico estará induciendo y, quizás, evitar el caos; es decir, la pérdida de nuestro control sobre los acontecimientos.

Así pues, ante la incertidumbre, lo que Schon propone es adelantarse al futuro sea cual sea: transformar las instituciones y alertar a los individuos se vuelve entonces la tarea crucial de todo diseño del futuro.

DE QUÉ DEPENDE QUE PODAMOS INFLUIR SOBRE EL FUTURO

Ya se dijo que educar, hacer previsión estratégica y adecuar las instituciones son medios pertinentes para influir sobre el futuro. Que podamos hacerlo o no dependerá de factores tanto objetivos como subjetivos y la experiencia enseña que los segundos son los más importantes; ya que controlar la evolución de un sistema social depende, sobre todo, de nuestro sentido de la realidad: si este es correcto tendremos éxito aunque nuestros medios instrumentales sean limitados.

Evidencias de que así es, abundan en las guerras coloniales de todos los tiempos; siempre son ganadas por los invadidos, sea la invasión de Francia a México en el siglo XIX o a Vietnam en el XX o la de Estados Unidos a Afganistán en el XXI.

Otro indicio de lo mismo es que, ante problemas sociales, las fallas humanas más frecuentes consisten en resolver problemas equivocados, no en ser incapaces de resolver problemas correctos (Ackoff, 1974). Nada de esto podría entenderse si no se toma en cuenta la condición humana; en los actos teleológicos, esto es, los motivados por un fuerte propósito expreso como puede ser el alcanzar cierto futuro deseado la voluntad y el sentido de la realidad se refuerzan mutuamente. Sentido de la realidad es lo que da el saber sistémico.

DE LOS ESCENARIOS POSIBLES A LOS DESEABLES Y AL FUTURO ELEGIDO

En la primera parte de este texto se mostró la amplia gama de futuros *posibles*, desde los más generales –cuya consideración es siempre pertinente aunque el interés focal esté en un sistema más reducido– hasta ciertos escenarios específicos de la ingeniería y su entorno. En los siguientes dos

apartados, “El sistema y subsistema de la ingeniería civil” y “...agentes portadores de futuro”, se comentaron escenarios *deseables* e indeseables de la ingeniería civil, además de su estado actual; y en las secciones “Medios para influir en el futuro” y “De qué depende que podemos influir en el futuro” se analizó qué hacer para lograr un futuro *elegido*.

Todo lo anterior, puesto en el contexto de nuestro objeto focal, permite delinear tanto rasgos del futuro deseable de la ingeniería civil en México como un conjunto de líneas de investigación pertinentes para llegar a ese futuro.

FUTURO Y LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN ELEGIDOS

Futuro elegido

El tiempo no se detiene mientras diseñamos el futuro; todo sigue cambiando y hay que influir en su trayectoria mediante la educación, la previsión estratégica y la transformación institucional. De aquí que lo crucial sea crear instituciones que aprendan y se autocorrijan sobre la marcha.

En paralelo habrá que corregir las lagunas e insuficiencias de nuestro sistema educativo; cuidar los fuertes vínculos entre investigación, práctica profesional y formación de cuadros que hoy constituyen la mayor fortaleza de nuestra ingeniería civil; y para provechar oportunidades inesperadas en investigación y práctica profesional, cubrir todas las disciplinas de este campo como hacen otros países de escala similar.

Algunas líneas de investigación pertinentes

Impulsar la modelación matemática computarizada

Por su capacidad casi ilimitada para simular con rigor fenómenos variados y complejos, este tipo de modelación es importante en todo campo de la ingeniería civil. Ahora bien, desarrollar modelos computacionales no basta para producir nuevo conocimiento científico; hacen falta a la vez observaciones experimentales para validar los modelos.

Incrementar el ya considerable número de investigadores y estudiantes de posgrado, que hacen o usan en México tales modelos, convertiría al país en gran productor de nuevo conocimiento si para cada tipo de problema se generan los datos experimentales indicados, previa instrumentación y monitoreo del comportamiento de prototipos a escala natural.

Esto es factible pues: 1) se sabe hacer; 2) es de interés para los dueños o responsables de las obras o sistemas a modelar; 3) su costo es, comparado con el valor de las obras o sistemas, cuando más de pocas milésimas; y 4) hay técnicos para hacer la instrumentación, aunque habrá que reclutar o capacitar algunos más. Por otra parte, deberá cuidarse que en los planes de estudio de las ingenierías no se debilite el aprendizaje de los métodos numéricos, las ciencias básicas y las ciencias de la ingeniería específicas de cada rama.

Lo dicho sobre el gran potencial de los modelos computacionales para simular problemas complejos no implica que modelos más simples, como los analíticos y otros, deban descuidarse en la educación o abandonarse en la práctica de la ingeniería; al contrario: aún serán medios expeditos para detectar errores al desarrollar y aplicar modelos más complejos. Hay que mantener en la licenciatura la enseñanza de aquellos métodos aproximados y mantener en la práctica profesional la costumbre de usarlos, como se ha indicado, para no perder el control ante la plétora de números que las computadoras arrojan al final de cada corrida de un programa.

Profundizar en el estudio de nuestro territorio

Especialmente en cuanto a riesgo sísmico, la modelación computacional puede contribuir al avance de la ingeniería sísmica si se instrumenta suficientemente la corteza terrestre en la vecindad de la zona de ruptura de las fallas causantes de nuestros mayores sismos, las de subducción de la costa del Pacífico.

Esto exige medir, en numerosos puntos de esas zonas, esfuerzos y deformaciones de la corteza y, durante los sismos disparados por la ruptura, registrar el avance de las ondas a lo largo de trayectorias de interés hasta las grandes concentraciones de población o infraestructura susceptibles de daño sísmico; además, en la zona de ruptura y en las trayectorias indicadas

habría que estimar ciertas propiedades del terreno a fin de elaborar los modelos computacionales que luego se validarían mediante los registros obtenidos de cada sismo.

Para este fin, los sismógrafos y acelerógrafos tendrán que equiparse con sistemas de posicionamiento geográfico (GPS). Esta línea permitiría capitalizar y agregar valor a lo aprendido por diversas instituciones nacionales durante los últimos 40 años; sería también una oportunidad para que ellas y otras con capacidades en ingeniería, geofísica, geología y matemáticas aplicadas colaboraran.

Desarrollar materiales autorreparables

Una línea de gran importancia económica potencial es el desarrollo de tecnologías para proteger los materiales de construcción contra degradación o deterioro progresivo causados por intemperización, contaminación ambiental, microorganismos, etcétera. A los métodos tradicionales de protección contra estos fenómenos se han sumado, en fechas recientes, otros inspirados en los mecanismos naturales con los que los sistemas orgánicos se reparan a sí mismos; como recalcificación de fracturas en huesos y sellado por coagulación de roturas del sistema vascular.

Hay cientos de patentes al respecto, generalmente basadas en polímeros en estado líquido insertos en micro-tubos aislados en forma de red. Al abrirse una grieta en el material, los micro-tubos o redes vasculares llenas del polímero se rompen; el polímero penetra en la grieta, se solidifica y se produce la reparación. También se han desarrollado mecanismos de sellado mediante esporas mezcladas con los agregados del concreto; las esporas se activan con la humedad que entra en la fisura y dejan en esta un depósito de carbonato de calcio que la sella.

Otros métodos de sellado usan compuestos metálicos agregados al concreto; se activan con la luz ultravioleta que penetra al ocurrir una grieta. Esta línea de trabajo exige integrar equipos de investigación multidisciplinarios compuestos por conocedores de las ciencias químicas y biológicas, además de las físico-matemáticas usuales en la ingeniería civil. El principal atractivo de tales tecnologías es la enorme repercusión económica que tendría alargar la vida útil del concreto o el acero; los dos materiales más usados en la construcción.

Investigar aspectos críticos de la sostenibilidad del país

Ciertas áreas científicas ya consolidadas pueden desarrollar soluciones interdisciplinarias para problemas que son urgentes en México y en el mundo. Por ejemplo, en la frontera entre hidráulica, agronomía y ecología hacen falta medios apropiados para proteger uno de los recursos no renovables más valiosos de cualquier país: los suelos.

Hoy están abandonados a la erosión y la contaminación. Esta incuria de siglos ha hecho que cada año perdamos cientos de miles de hectáreas de bosques y otras coberturas vegetales y echemos al mar tanto contaminantes como un capital valioso y no renovable. Como subproducto de la protección de suelos, lograríamos alargar dos o tres tantos la vida útil de nuestra infraestructura actual y futura (represas, canales, conductos de agua potable y drenaje, etcétera) por reducción de su tasa de azolvamiento. También es urgente acelerar el saneamiento y la protección ambiental de cuencas hidrológicas completas y dar el debido tratamiento a la totalidad de las aguas usadas de origen doméstico, industrial y agropecuario; único modo racional de lograr la descontaminación de cuerpos de agua y suelos.

Sólo con este tipo de acciones integrales se podrá mejorar la calidad de vida de millones de mexicanos que hoy sufren niveles criminales de contaminación en muchas cuencas. A la vez, se desarrollaría nuevo conocimiento valioso sobre una de las cuestiones más complejas, poco estudiadas y urgentes de nuestro tiempo: la dinámica vital de cada cuenca, al incluir todas sus variables significativas.

Esto es indispensable para tomar decisiones racionales sobre la conservación y buen uso de los recursos naturales y constituye un problema clásico de la ecología; este sólo puede abordarse mediante complejos modelos matemáticos calibrados con mediciones de campo de múltiples variables: lluvia, escurrimientos, erosión, sedimentación, evolución de flora y fauna, etcétera, todo en interacción con el conjunto de obras construidas en cada cuenca (*built environment*). Esta línea de investigación es propicia para la colaboración de universidades y centros de investigación en todo el país.

Crear campos geotécnicos experimentales

El fin sería caracterizar, desde el punto de vista geológico y geotécnico, los suelos típicos de zonas susceptibles de desarrollo futuro en la periferia de las ciudades en expansión o atractivas para desarrollos futuros de cualquier naturaleza.

Se han creado campos geotécnicos incluso en países muy desarrollados (Brown y Mayne, 2012) que, ubicados apropiadamente, permiten adelantar soluciones a necesidades futuras y generar nuevo conocimiento que es de gran utilidad. Se trata de una labor equiparable a la que el grupo de geotecnia, encabezado por el profesor Raúl J. Marsal llevó a cabo entre 1945 y 1960, hasta caracterizar los diversos suelos típicos de la ciudad de México y estudiar sus propiedades mecánicas para todos los fines de la ingeniería civil; este trabajo permitió formular normas de diseño o construcción y dio prestigio internacional al Instituto de Ingeniería.

Asimismo, es una línea atractiva para instituciones de investigación en todo el territorio nacional y tiene la ventaja de no requerir grandes inversiones en infraestructura adicionales a las que ya han hecho la mayoría de las instituciones académicas del país dedicadas a la geología y/o la geotecnia.

CONSIDERACIONES FINALES

Estas reflexiones sobre el futuro de la ingeniería civil parten de una convicción: acrecentar e institucionalizar nuestras capacidades científicas contribuirá al desarrollo del país. Ahora bien, tan importante como la ciencia es la conciencia. Todas las naciones hoy desarrolladas decidieron en su momento, como primer paso hacia el progreso, abatir decididamente las desigualdades socioeconómicas que pueden condenar a la miseria a una porción de sus habitantes.

A dos siglos de que ese propósito se expresó como justificación de la guerra de Independencia, México aún no lo cumple. Esas graves desigualdades y el número de mexicanos afectados por ellas crecen; sus costos también crecen en más de un sentido pues degradan la calidad de vida de todos, pobres y ricos. La falla es grave por ser colectiva y porque no se limita al ámbito de la economía, sino que abarca el de la ética.

Suele decirse que nos ha faltado ‘pensar en grande’. Dudo que esa sea una solución, pues de la medianía no se sale mediante la desmesura. Urge más bien dar ya el paso largamente postergado de reducir la desigualdad y luego transitar de lo cuantitativo a lo cualitativo; comenzar por someter nuestras ideas al filtro de la autocrítica hasta depurarlas y dotarlas de razón, solidez y pertinencia; que no son categorías de cantidad, sino de calidad.

Aunque nada hay que garantice el desarrollo futuro de un país, si los ciudadanos actuamos así y nuestras instituciones aprenden y se autocorrigen estaremos maximizando la probabilidad de lograrlo.

Reconocimiento

Este texto se benefició con sugerencias generosas y observaciones críticas de Antonio Alonso Concheiro, Ramón Domínguez Mora y Shri Krishna Singh.

REFERENCIAS

- Ackoff, R. L. (1974). *Redesigning the Future: A Systems Approach to Societal Problems*. New-York: J. Wiley & Sons.
- Alonso Concheiro, A. (2009). *Futuros de la ingeniería en México*. Conferencia magistral en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, noviembre, México.
- Brown, D.A. y Mayne, P. W. (2012). Piedmont residual soils and rocks. En *Geo-Strata* Nov-Dec (pp. 18-22) New York: American Society of Civil Engineers.
- Elizondo, J. y Reséndiz, D. (2000). Cultura, educación, ciencia y tecnología. En Millán, J. A. y Alonso Concheiro, A. (Coords.), *México 2030: Nuevo Siglo, Nuevo País* (pp. 331-397). México: Fondo de Cultura Económica.
- Fossaert, R. (1994). *El Mundo en el Siglo XXI: Una teoría de los Sistemas Mundiales*. México: Siglo XXI Editores.
- Galbraith, J. K. (1996). *The Good Society: The Humane Agenda*. Boston: Houghton Mifflin, Co.
- Goodland, R., Daly, H., El Sarafy, S. y von Droste, B. (Eds.) (1991) *Environmentally Sustainable Economic Development: Building on Brundtland*. París: Unesco.
- Masini, E. y Galtung, J. (Eds.) (1979). *Visiones de Sociedades Deseables*. México: Centro de Estudios Económicos y Sociales del Tercer Mundo.
- Millán, J. A. y A. Alonso Concheiro, A. (Coords.) (2000). *México 2030: Nuevo Siglo, Nuevo País*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Paepke, C. O. (1993). *The Evolution of Progress*. New York: Random House.
- Reséndiz, D. (2000). *Futuros de la Educación Superior en México*. México: Siglo XXI Editores.
- Reséndiz, D. (2010) El desarrollo de la ingeniería mexicana: lecciones de la historia. En Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica. (Ed.) *El Siglo de la Mecánica de Suelos* (pp.15-48) México: SMIG.
- Sachs, W. M. (1980). *Diseño de un Futuro para el Futuro*. México: Fundación Javier Barros Sierra. La edición en inglés es de 1978.
- Schon, D. A. (1971). *Beyond the Stable State*. New York: The Norton Library.
- Walsh, B. (2012). Hollow Man. En *Colloquy* Autumn (pp. 19-21) The Graduate School of Arts and Sciences. Cambridge, Harvard University.

PROBLEMAS TECNOLÓGICOS ACTUALES Y FUTUROS DE LA INDUSTRIA PETROLERA

Vinicio Suro Pérez*

PANORAMA

La cadena de valor de la industria petrolera comprende dos grandes rubros. El primero de ellos está asociado con la industria extractiva y el segundo corresponde a la transformación de los hidrocarburos en diferentes insumos para el consumo diario. Sin embargo, aun cuando la cadena de valor es la misma, las disciplinas y los problemas tecnológicos de uno y otro son diferentes.

La parte de *aguas arriba*, exploración y producción, es una actividad de prospección que busca identificar los yacimientos de hidrocarburos a partir de información indirecta y directa, seguida de una actividad de construcción de instalaciones para procesar, primariamente, los hidrocarburos.

La de *aguas abajo*, la de transformación, es una actividad industrial que opera con los hidrocarburos primarios; los transforma y los convierte en insumos para su posterior aprovechamiento o para su consumo inmediato. En todos los casos de esta transformación, las corrientes de hidrocarburos son conocidas con algún detalle, con algunas variaciones razonables de las mismas a fin de optimizar el proceso de las instalaciones.

Los problemas tecnológicos de cada rubro son diferentes por diversas razones. En aguas arriba el problema central es inferir, la información geofísica en asociación con modelos geológicos basados en datos directos que son un elemento medular para definir la viabilidad en el negocio a través de una probabilidad de descubrimiento conveniente. Posteriormente, el éxito

* Instituto Mexicano del Petróleo.

comercial en el diseño y la construcción de infraestructura de proceso y de transporte para los hidrocarburos –producto de un descubrimiento– es función de una apropiada caracterización del volumen de hidrocarburos en el yacimiento y de las características de los fluidos contenidos en él.

En aguas abajo, una vez producidos y procesados primariamente los hidrocarburos, la etapa siguiente los descompone para convertirlos en combustibles, lubricantes, petroquímicos y otros. Aquí el reto tecnológico es diseñar las plantas con procesos eficientes para maximizar los rendimientos, minimizar el consumo de energía y agua, mantener la continuidad de la operación, entre otros.

A diferencia de aguas arriba, en aguas abajo las decisiones operativas se centran más en cómo resolver variaciones en las especificaciones de los hidrocarburos a procesar y programar los mantenimientos integralmente a fin de alcanzar la continuidad de la operación. Este tema es central porque las tecnologías elegidas en estas plantas de proceso son las que determinan el valor económico a generar. Por ejemplo, maximizar el valor requiere de mantenimientos integrales, cortos y regulares; esto está profundamente ligado a la tecnología seleccionada para el proceso de los hidrocarburos.

Así, tanto aguas arriba como aguas abajo ofrecen diferentes características para una aproximación tecnológica eficiente. La incertidumbre es máxima al inicio de la cadena de valor de la industria petrolera y es mínima en su parte final. Las ciencias de la Tierra dominan las primeras etapas, en tanto las siguientes están fuertemente dominadas por las diferentes ingenierías.

En ambos casos, las ciencias básicas son el sustento necesario e indispensable para alcanzar los objetivos de generación de valor económico; y en conjunto con las ciencias ambientales lo son para alcanzar una sana interacción con el medio ambiente.

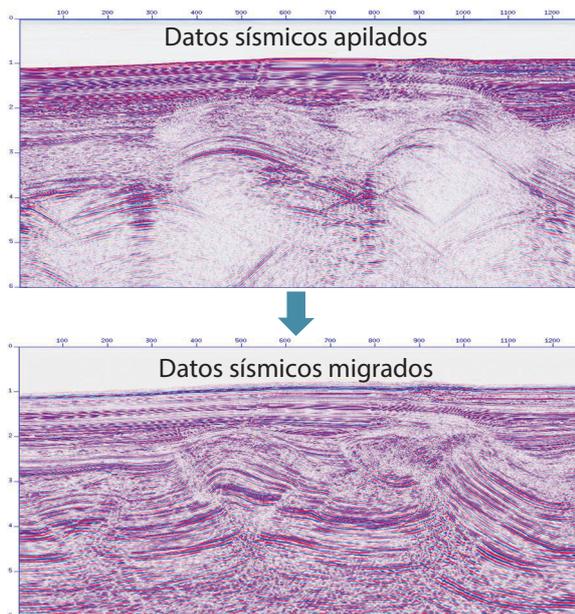
PERSPECTIVA TECNOLÓGICA EN AGUAS ARRIBA

Una manera de abordar las perspectivas tecnológicas actuales y futuras de aguas arriba es separar –artificialmente desde luego– el problema en dos componentes: a) la exploración de hidrocarburos y b) su desarrollo

y explotación. Son dos temas donde muchas de las tecnologías son compartidas pero el enfoque varía por la naturaleza de los problemas a resolver.

Exploración de hidrocarburos

El método dominante en la prospección de hidrocarburos es la sísmica basada en el registro de las ondas P (ondas primarias o longitudinales). El problema actual no es la determinación de la geometría de la hipotética trampa donde se alojan los hidrocarburos en general. Las técnicas de adquisición de datos sísmicos, donde desde diferentes puntos en superficie puede ser apreciado un mismo punto en el subsuelo, han ayudado en esta última década a obtener imágenes del subsuelo más nítidas y con mayor resolución. Estas técnicas cuentan con la flexibilidad para lograr que el procesamiento de la información sísmica sea más completo –solución a la ecuación de onda, migración antes y después de apilamiento, inversión sísmica y otros– lo que permite alcanzar un reconocimiento estructural más preciso (véase la figura 1).

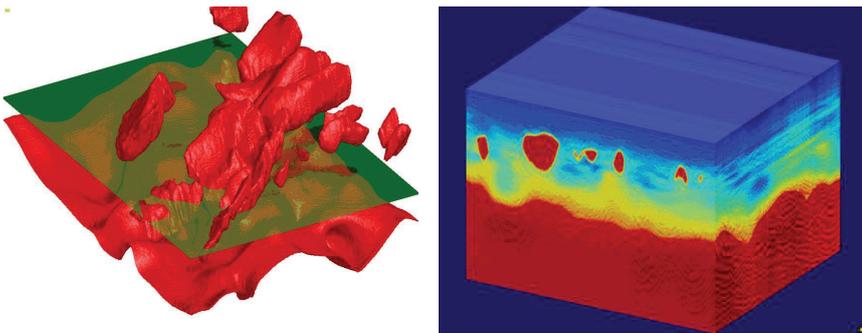


Fuente: Banco de datos del IMP.

Figura 1. Productos del procesamiento sísmico.

Importantes avances han sido registrados, sin embargo el problema de estimación de las velocidades de diversas unidades rocosas es una fuente de incertidumbre y es regularmente abordado. Ante ese problema, es claro que se debe disminuir la incertidumbre con nuevas fuentes de información; en este caso las ondas S. Esta pieza de información debería aportar conocimiento sobre las características de la roca que potencialmente es almacenadora. En ese sentido, el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) y otras instituciones mexicanas tienen que impulsar diferentes acciones para encarar el problema teórico y mejorar la solución computacional.

Adicionalmente, si la geometría de la probable trampa de un solo punto es determinada y existe incertidumbre sobre la profundidad, derivada de la otra incertidumbre en la velocidad, los métodos gravimétricos pueden disminuirla. El problema actual es la inversión combinada de la geometría producto de la interpretación sísmica con la información gravimétrica, que permite entre otras cosas, la inferencia de la densidad. El problema a futuro es acelerar los tiempos de solución de los algoritmos y tener formulaciones robustas para la inversión.



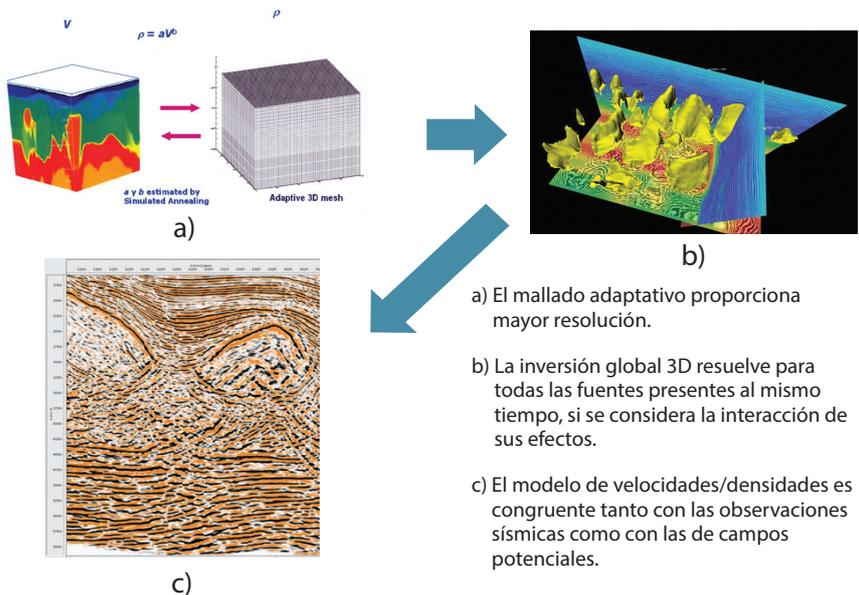
Fuente: Banco de datos del IMP.

Figura 2. Integración de sísmica y gravimetría.

Asimismo, si las ondas S junto con las P ayudan a disminuir la incertidumbre sobre las características de las rocas, puede incorporarse ahora –como problema actual y futuro– el uso de métodos eléctricos para completar la información. La medición de la resistividad para inferir la

saturación de hidrocarburos, asociada al conocimiento de la permeabilidad y porosidad, ayudan de manera definitiva a estimar el volumen de hidrocarburos *in situ* y su potencial productivo. La gran revolución tecnológica que se desea encontrar es, que a través de mediciones indirectas de propiedades, determinar no solo la presencia de hidrocarburos, sino su volumen y una estimación de su potencial productivo.

El siguiente tema a resolver es la inversión combinada de métodos sísmicos, gravimétricos y eléctricos condicional a observaciones geológicas (véase la figura 2). Este planteamiento abre una multitud de opciones para su solución. Desde los métodos deterministas hasta los estocásticos. Los cambios de escala y la precisión en los datos son temas a ser considerados en cualquiera de las alternativas. Una solución al problema es determinar la estructura del yacimiento hipotético, así como la distribución interna de sus propiedades a través de información indirecta y directa –que aún es un fascinante problema geológico y geofísico– con la incorporación de métodos cuantitativos para simular la génesis de la roca almacenadora. Este último es un tema que hasta ahora, parece ser, no se ha desarrollado con vigor (véase la figura 3).



Fuente: Banco de datos del IMP.

Figura 3. Ejemplo de aplicación: Cubo 3D Yaxiltún.

En suma, mejorar la probabilidad de descubrimiento de hidrocarburos implica agregar diferentes fuentes de información a fin de reducir la incertidumbre. Ello significa continuar y profundizar en los procesos de inversión condicional a la información existente al emplear cuantitativamente la información geológica y geofísica disponible. Una vez realizado el descubrimiento, el modelo permanece. A la actualización se le debe sumar el pozo exploratorio ya que ofrece una mejor oportunidad de que la interpretación y la inferencia sean condicionales a la información dura del pozo, ya sean carbonatos, arenas o lutitas.

Desarrollo y explotación de hidrocarburos

Una vez confirmada la presencia de un yacimiento el mayor reto es definir la mejor estrategia de explotación; esto supone, entre otras cosas, establecer la geometría de los pozos, el número de ellos, las instalaciones de producción y fundamentalmente, el proceso de recuperación de hidrocarburos.

Tanto la geometría de los pozos como el número de ellos se relaciona a la estrategia de explotación. Esta descansa en la descripción estática del yacimiento y supone el conocimiento de la geometría del mismo –en términos de horizontes, fallas, cambios de facies y otros– y también en la variación de las propiedades petrofísicas del yacimiento. El problema central es la precisión sobre estos elementos y el modelo de incertidumbre asociado: la inversión de la información suave y dura condicional a la información dura de los pozos de desarrollo; una de las claves de esta estrategia.

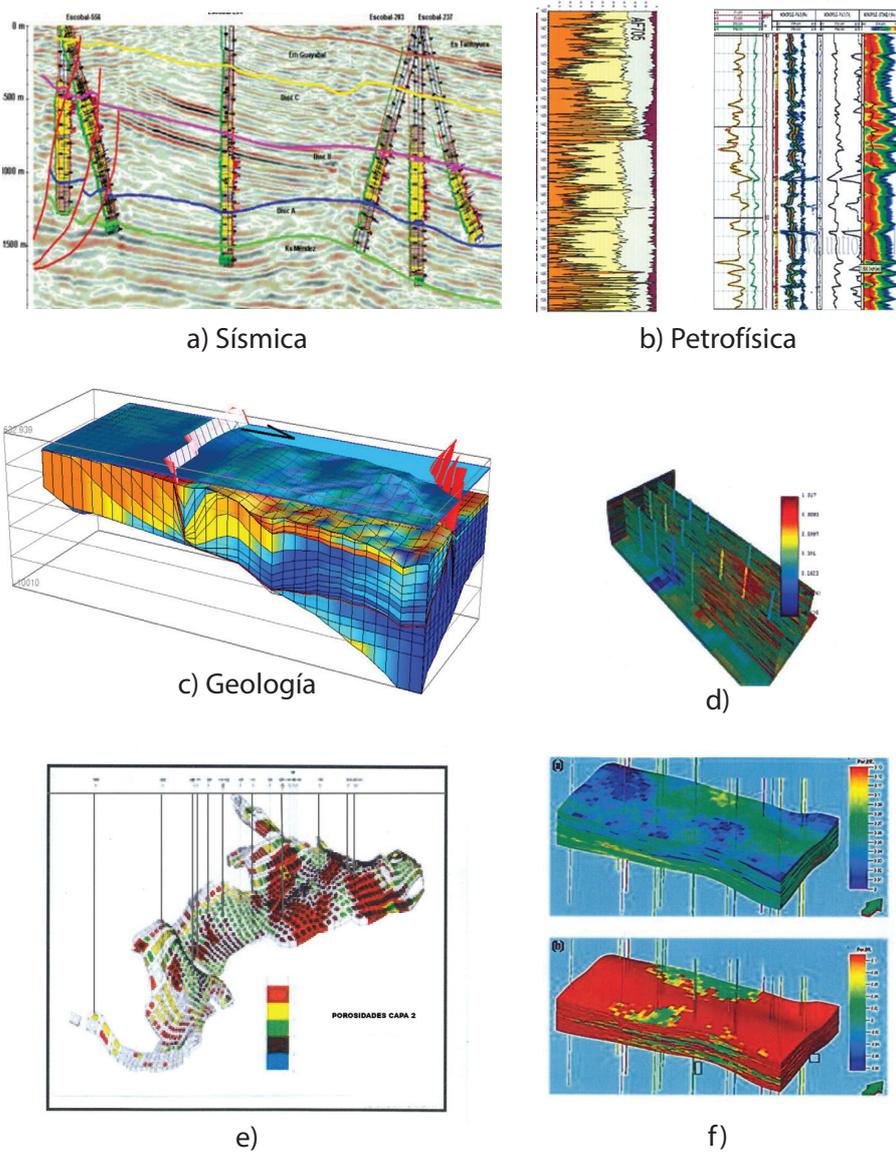
La descripción del yacimiento junto con la caracterización de los fluidos del mismo son los principales insumos para simular el movimiento de los fluidos ante diferentes estrategias de explotación. Es ahí donde los problemas tecnológicos residen; si la descripción del yacimiento es incierta entonces, cómo trasladar esa incertidumbre al movimiento de fluidos y en consecuencia a la estrategia de explotación. Esa es la pregunta; las respuestas ofrecidas a través de procesos estocásticos aún son incipientes pero robustas. Este es un tema actual y de futuro para acelerar la formulación de escenarios de producción.

Por otro lado, desde el punto de vista de revitalización de yacimientos, la selección de procesos de recuperación secundaria y mejorada –como medios para aumentar el factor de recuperación– es un tema imprescindible en la captura de valor. El caso mexicano ofrece oportunidades de atención inmediata si se considera que más de dos terceras partes de la producción petrolera actual proviene de campos maduros; de estos campos, solamente aquellos gigantes y *supergigantes* son sometidos a procesos de mantenimiento de presión. El reto tecnológico actual es integrar las descripciones internas de los yacimientos con la información disponible, bajo los procesos cuantitativos descritos anteriormente, a modelos de simulación del flujo con escenarios de inyección de diferentes fluidos que incluyen al gas natural.

El problema tecnológico actual no es predecir solamente el comportamiento de la presión-producción bajo diferentes estrategias de inyección de fluidos y de perforación de nuevos pozos, sino hacer esa predicción condicional sobre la descripción suave-dura del yacimiento y a la historia dura de presión-producción del mismo. La solución actual es iterativa, consumidora en tiempo y con una física desarrollada para yacimientos homogéneos; lo que da lugar a una incertidumbre adicional.

El reto a futuro es profundizar en el desarrollo de nuevos esquemas de simulación de flujo al reconocer la heterogeneidad de los yacimientos. Por ejemplo, cambios de facies con propiedades dinámicas diferentes o medios fracturados donde la descripción original sea usada para describir el flujo y no recurrir, necesariamente, a medios simplificados perdiendo la real física de lo que está ocurriendo en la roca.

El problema tecnológico a futuro, sin duda, es la hibridización de los métodos para aumentar el factor de recuperación. Si se inyecta agua o cualquier gas y se agregan catalizadores o polímeros a estos fluidos para acelerar las modificaciones a las propiedades de la roca o de los hidrocarburos a fin de acelerar el movimiento de estos hacia los pozos, supone un gran interés comercial. Si esto se logra, la solución propuesta abre una importante línea de investigación para modificar, por ejemplo, las características de crudos pesados y extrapesados *in situ*. De acuerdo con lo anterior, el Instituto Mexicano del Petróleo dedica importantes esfuerzos en esta ruta al combinar procesos químicos con procesos tradicionales para aumentar el factor de recuperación.



Fuente: Banco de datos del IMP.

Figura 4. Modelo estático de yacimientos.
 (d, e y f: son ejemplos de mapas de distribución de propiedades: porosidad, permeabilidad, espesores, cimas y bases de las formaciones, saturación de agua, etcétera).

Nuevamente y en suma, la propuesta tecnológica futura impone la creación de modelos, estáticos (véase la figura 4) y dinámicos (véase la figura 5), consistentes con la información suave y dura para predecir el comportamiento dinámico de los yacimientos; lo anterior sujeto a honrar principios físicos tanto en las características o tipo de las rocas como en el movimiento de los fluidos, en acumulaciones en carbonatos, arenas o lutitas.

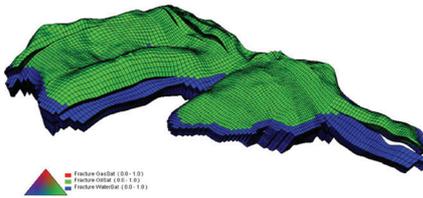
PERSPECTIVA TECNOLÓGICA EN AGUAS ABAJO

La segunda parte de la cadena de valor de la industria petrolera es la transformación de los hidrocarburos producidos en la etapa de exploración y producción. Los temas tecnológicos actuales están más asociados a la optimización de las instalaciones existentes con tecnologías ya seleccionadas a fin de garantizar la continuidad de la operación y a la producción de combustibles; estos deben cumplir con las regulaciones ambientales tanto en el uso de los mismos como en su producción.

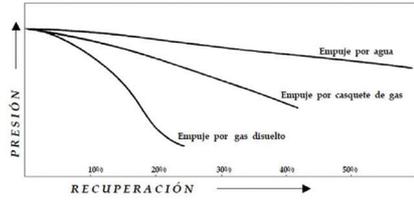
Existen temas sobre el desarrollo tecnológico relacionados a la creación de nuevas tecnologías que impulsen la producción eficiente de destilados y así minimizar la generación de gasóleos pesados.

Algunos problemas tecnológicos actuales en la operación son:

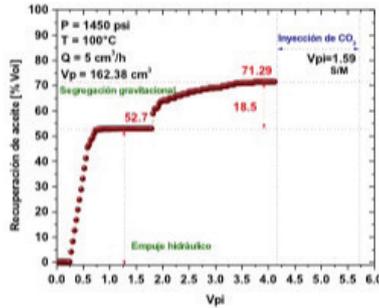
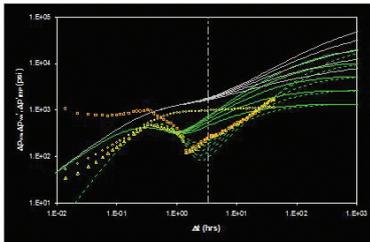
- a) Plantas existentes con tecnologías de transformación de hidrocarburos ya implantadas. Uno de los retos tecnológicos presentes es operar automáticamente cada una de las plantas a través del registro de indicadores clave de cada uno de los procesos. De esa manera se podría optimizar la operación de la planta. Este problema es de automatización y de ingeniería de control y supone el registro a través de sensores, en tiempo real, de composiciones, temperaturas, presiones y otros para –a través de algoritmos establecidos– modificar automáticamente las condiciones de operación de la planta y así capturar valor a través de la eficiencia de la operación.
- b) Ingeniería de proceso para lograr la optimización de la refinería o del complejo petroquímico. La automatización de cada planta y el



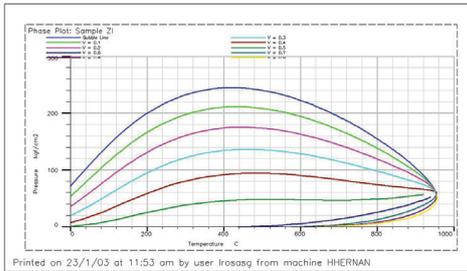
Modelo estático



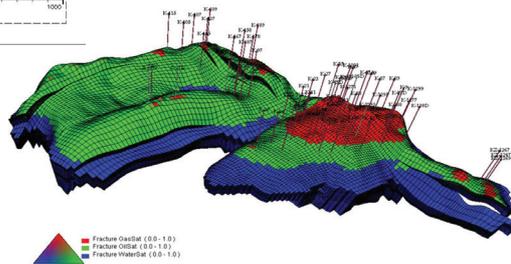
Ingeniería de yacimientos



Análisis de pruebas de presión



Caracterización de fluidos



Desarrollo del campo

Fuente: Banco de datos del IMP.

Figura 5. Modelado dinámico de yacimientos: se integra a partir de información del modelo estático, análisis de pruebas de presión, caracterización de fluidos e ingeniería de yacimientos para proponer el desarrollo del campo.

registro de las variables de proceso en conjunto con el resto de plantas, supone un ejercicio de optimización integral donde lo que se privilegia es el óptimo global a través de decisiones correspondientes a las corrientes de hidrocarburos a procesar, a los programas de mantenimiento, reemplazo de catalizadores y otros. Ambas estrategias combinadas, con toda claridad, eleva el rendimiento de la operación al mantener continuidad de la operación, disminuir la intensidad energética, optimizar el uso de catalizadores y otros temas encaminados a la generación de valor a través de la producción de destilados y petroquímicos.

Algunos problemas tecnológicos actuales en el proceso son:

- a) La refinación de crudos pesados y extrapesados donde las tecnologías dominantes buscan mejorar el crudo haciéndolo ligero a través de la eliminación de carbono o al adicionar hidrógeno. Aun cuando el rechazo del carbono es la tecnología dominante, también es cierto que su rendimiento es bajo y que los productos destilados requieren un tratamiento adicional para utilizarse como combustibles. Por ello, el reto es incursionar en nuevos mecanismos para adicionar hidrógeno a la mezcla, evitar el tratamiento posterior y disminuir el contenido de impurezas como azufre, nitrógeno, asfaltenos y metales, entre otros.
- b) El uso de catalizadores en el proceso de hidrocarburos para aumentar el rendimiento y el valor de la operación. Por ejemplo, los catalizadores tradicionales utilizados en el proceso de alquilación de butilenos –que usan isobutano para obtener octano sin azufre, ni olefinas, ni aromáticos y con un índice de octano superior a 93– están basados en ácido fluorhídrico o en ácido sulfúrico. Estos presentan fuertes riesgos por su manejo, por ello se deben dedicar mayores esfuerzos al uso de catalizadores heterogéneos en forma de ácido fluorhídrico sólido a fin de minimizar los riesgos del proceso de alquilación (véase figura 6).



Fuente: Banco de datos IMP.

Figura 6. Catalizadores diseñados en el IMP.

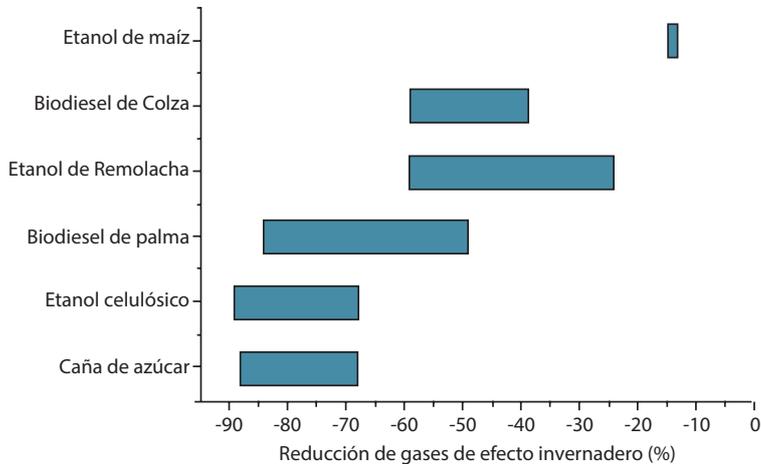
Las nuevas formulaciones de catalizadores por desintegración catalítica son necesarias. Por ejemplo, producción de combustibles limpios donde el azufre y el benceno se reduzcan a los niveles establecidos por regulaciones actuales y futuras. En estos temas, el Instituto Mexicano del Petróleo ha conformado una línea de investigación para abordar esta necesidad de la industria de refinación mexicana.

Algunos problemas tecnológicos futuros son:

- a) El aumento del rendimiento de destilados al procesar las diferentes corrientes de crudo; particularmente, las de pesado y extrapesado. Las principales estrategias para lograr tal propósito han sido disminuir carbonos o aumentar hidrógenos. Sin embargo, parecería ser que la vía más prometedora es la suma de hidrógenos, si se consideran dos condiciones de actualidad: la reducción drástica del precio del gas natural y el hecho de que los tratamientos adicionales en los productos son innecesarios.

Similarmente a los procesos de recuperación secundaria y mejorada, una hibridación en el tratamiento de los crudos ofrece

perspectivas de interés con ventajas que incluyen: el incremento en rendimientos del producto, la mejora de la calidad, la eliminación de la producción de subproductos de bajo valor y la reducción del contenido de impurezas. Dentro de estos procesos híbridos destacan: la combinación del desasfaltado con solvente e hidrotratamiento catalítico, para reducir el contenido de asfaltenos de los crudos pesados. Esto proporciona una carga más limpia para su conversión en crudos más ligeros. Adicionalmente, otra combinación es la hidrodeseintegración en fase dispersa e hidrotratamiento catalítico para desintegrar los asfaltenos y reducir tanto el contenido de contaminantes en los crudos mejorados como la producción de residuales.



Fuente: Elaboración del propio autor con datos del IMP.

Figura 7. Beneficio ambiental de los biocombustibles.

- b) La producción de biocombustibles (véase la figura 7). Su participación en el mercado se ha visto limitada por los fuertes incrementos en los precios de las materias primas, por la falta de tecnologías eficientes para su producción y por una participación menor de 5% en la demanda mundial de gasolina y diésel hacia el año 2025. Para que los biocombustibles incrementen su oferta es fundamental desarrollar tecnologías eficientes para la conversión de materias primas

celulósicas, no utilizables como alimento, a hidrocarburos compatibles con la gasolina, turbosina y diésel. En el caso de los procesos basados en gasificación, la principal área de atención son las inversiones derivadas de las condiciones de operación en los reactores y la complejidad de los procesos. Si el camino es la pirólisis, la atención va a los costos de estabilización y al tratamiento del producto de reacción. Así, si la ruta es enzimática, el objetivo es reducir el costo de las enzimas.

Finalmente, otro problema tecnológico del futuro es la producción de etileno. Los métodos actuales rompen la molécula de etano a través de métodos pirolíticos con un bajo rendimiento a etileno, el cual llega como máximo a 50%. En este contexto, el empleo de métodos catalíticos para elevar la eficiencia es fundamental: hay que elevar el rendimiento por arriba de 60%. Si se alcanza, sin ninguna duda, se habrá iniciado una nueva etapa de la industria petroquímica, al reducir el impacto ambiental y evitar el envío a la atmósfera de volúmenes considerables de CO².

CONCLUSIONES

La industria petrolera tiene un cúmulo enorme de problemas a resolver. En los últimos veinte años se han visto progresos tanto aguas arriba como aguas abajo. Claramente, en aguas arriba se distinguen en los modelos la información suave de la dura; la incertidumbre se ha modelado y los métodos de *MonteCarlo* se han refinado para llegar a ser espacialmente dependientes, con distribuciones múltiples y estimaciones que obedecen a funciones de distribución no paramétricas.

Los procesos físicos derivados de la interacción roca-fluido se comprenden mejor y por consecuencia, se modela con mayor precisión. Los simuladores de flujo han crecido en su complejidad, así como el número de opciones. Su física reproduce con mayor acierto lo que sucede en las rocas y el cambio de escala ha sido reconocido. En conclusión, se ha progresado.

No obstante, queda un camino importante por recorrer. Aguas abajo

ofrece oportunidades significativas para modelar, automatizar y optimizar. Con la creación de nuevos catalizadores y nuevos procesos se podrá aumentar el rendimiento de destilados y de productos químicos con una conciencia de eficiencia energética, de cuidado del agua y de respeto al medio ambiente; los nuevos procesos no solamente buscan el valor económico, buscan también la disminución del impacto ambiental.

En ese contexto, el hidrotreamiento, los procesos híbridos y la disminución drástica del precio del gas natural abren una ventana de oportunidades para avanzar en la investigación y desarrollo tecnológico. Esto tanto de aguas arriba, por ejemplo *shale gas-shale oil*; como aguas abajo, por ejemplo el hidrotreamiento como mecanismo para mejorar la calidad de los crudos y aumentar el rendimiento.

En estos temas, entre otras acciones estratégicas, habrá que dedicar mayores inversiones; reconocer la necesidad de formar aceleradamente recursos humanos calificados; y crear e impulsar otras líneas de investigación.

EL FUTURO DE LA INGENIERÍA MECÁNICA Y SUS CARRERAS DERIVADAS

*Jesús Manuel Dorador González**

ANTECEDENTES

Desde su origen, la ingeniería mecánica ha sido la fuerza motriz de nuestra civilización al cumplir siempre su propósito de proporcionar a la sociedad herramientas y bienes que le permitan aprovechar los recursos naturales para la satisfacción de sus necesidades materiales e intelectuales. Dichas herramientas y bienes se han convertido en los más complejos y sofisticados artefactos; desde vehículos para la exploración en la superficie de otros planetas hasta micromotores cuyo rotor tiene diámetro de menos de un milímetro.

Entre estos, una inmensa variedad de máquinas, aparatos y utensilios intervienen en nuestra vida cotidiana, particularmente en los aspectos social y económico.

La ingeniería mecánica ha participado en desarrollos trascendentes en prácticamente todos los campos que han determinado nuestro actual estilo de vida. Entre estos desarrollos se encuentran la industria automotriz, la aeronáutica, la espacial, la agrícola, la de enseres domésticos, la de equipo médico, la tecnología de manufactura. Aunque disciplinas como el estudio de materiales, la mecatrónica, la biotecnología, la nanotecnología y el desarrollo de las industrias electrónicas, computación y de comunicaciones parecen predominar, es reconocido que la ingeniería mecánica

* Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.

tendrá un papel determinante en la investigación y la innovación tecnológica que determinará el futuro, la generación y transformación de energía... (Huber y Mills, 2005).

La necesidad de crear procesos de manufactura, bienes de capital y productos cada vez más especializados en el área industrial, así como la creación de productos y sistemas mecánicos de uso cotidiano ha llevado al hombre a trabajar de forma multidisciplinaria para la creación de dichas tecnologías. La creciente integración de sistemas diseñados y creados con la mecánica y la electrónica dan lugar a la fusión de estas disciplinas formándose una nueva, llamada mecatrónica. La mecatrónica es aplicada en la automatización y control de las fábricas, en las máquinas de control numérico, en la robótica, en las celdas de manufactura flexible, en la ingeniería biomédica; así como en aparatos de uso doméstico como cámaras de video, lavadoras, refrigeradores, etcétera.

El futuro de la innovación tecnológica está en la optimización de la unión entre los sistemas electrónicos y los sistemas mecánicos. Esta unión es ya un hecho en algunas aplicaciones de manufactura avanzada, sistemas de producción y en el diseño de productos.

De la ingeniería mecánica surgieron otras carreras derivadas. En primer lugar, la ingeniería mecánica eléctrica que aún se conserva como tal en muchas universidades; mientras que en otras y debido ya que su campo de acción es muy amplio se ha dividido en: ingeniería mecánica, ingeniería industrial e ingeniería eléctrica. Esta última es la base de la ingeniería electrónica, en computación y en telecomunicaciones. Nuevas carreras han surgido a partir de la conjunción de estas áreas y de sus especializaciones.

Entre otras están la ingeniería mecatrónica, la automotriz, la aeroespacial y más recientemente la nanoingeniería. Todas estas carreras buscan que las habilidades y conocimientos del ingeniero no estén confinados a una sola área, sino que sean capaces de comunicarse sobre las barreras tecnológicas del diseño, la electrónica, la computación y la ingeniería mecánica.

Cuando estas se vinculan con otras disciplinas, por ejemplo, con las ciencias de la salud surgen áreas específicas de aplicación y desarrollo como

la bioingeniería, ingeniería biónica, ingeniería celular y tisular e ingeniería en sistemas médicos, por mencionar las de mayor relevancia.

SITUACIÓN ACTUAL

Las áreas del conocimiento de la ingeniería mecánica son –principalmente– la ingeniería de materiales, de manufactura, de diseño y en termofluidos. Las principales áreas de la ingeniería mecatrónica son la automatización industrial, el diseño mecatrónico, el control industrial de procesos y la robótica. Todas estas áreas de aplicación son fundamentales para el desarrollo tecnológico del país, por lo que deben ser reforzadas y apoyadas decididamente.

La competencia global es un hecho, por lo que es necesario impulsar aún más la competitividad en México. Resulta absurdo pensar que se puede competir sólo al ofrecer un bajo costo de mano de obra y materias primas. Es necesario desarrollar tecnología no sólo para sustituir importaciones, sino para exportarla. Se cuenta con el interés y el potencial para hacerlo; de hecho existen algunas iniciativas por parte de la academia, el gobierno y la iniciativa privada, por lo que es indispensable acelerar el paso y ayudarlas a madurar.

Grandes empresas se han dado cuenta del potencial de México no sólo como punto geográfico para la manufactura de sus productos, sino de la capacidad creativa; por lo que están instalando centros de desarrollo en México. Como ejemplos, podemos citar el crecimiento de la industria automotriz y de aeronáutica establecidas en el norte y centro de México desde hace algunos años. Lo anterior no sólo por la capacidad de manufactura de alta calidad, sino también a la capacidad reconocida de los ingenieros mexicanos para el diseño.

ÁREAS DE OPORTUNIDAD

Las áreas de oportunidad en la ingeniería mecánica y sus carreras derivadas son muy amplias, a continuación se presentan algunas de las más relevantes:

Ingeniería de manufactura

- a) *Diseño de herramental.* Una importante área de oportunidad es la del diseño de moldes y troqueles que son requeridos por las empresas manufactureras. En México se debe potenciar la capacidad de diseño y de caracterización y propuesta de nuevos materiales y tratamientos superficiales para mejorar su calidad y durabilidad.
- b) *Mejora de procesos.* Todos los procesos son susceptibles de mejora para reducir los costos tanto de producción, como de manipulación, traslado y uso de los componentes. Esta actividad es propia del trabajo conjunto entre ingenieros mecánicos e ingenieros industriales. El mejor momento para reducir los costos y mejorar los procesos es en las primeras etapas del diseño, sin esperar a que los problemas se presenten y se deban resolver en la línea de producción.
- c) *Diseño para ensamble y manufactura.* El ensamble de los productos representa entre 40 y 70% del costo final de un producto. El proceso del diseño para ensamble permite reducir los costos por medio del análisis de todo el proceso de producción y de todas las etapas del ciclo de vida de un producto; desde su concepción, diseño, fabricación, uso y hasta el reciclaje. Esta área se ha desarrollado muy poco en México por lo que se debe impulsar su crecimiento.

Ingeniería de materiales

- a) *Materiales compuestos.* El uso de materiales compuestos tiene una clara tendencia al crecimiento; asimismo, se invierten muchos recursos para el desarrollo de nuevos diseños y propuestas para aumentar sus propiedades y reducir los costos de producción. Sin embargo, se deben impulsar proyectos que desarrollen procesos para que los materiales compuestos se puedan separar adecuadamente para su reciclaje y reutilización.
- b) *Materiales plásticos.* La industria del plástico ha tenido un crecimiento exponencial. Los nuevos diseños y materiales se pueden utilizar en

aplicaciones que van desde la industria aeroespacial hasta aplicaciones de micro y nanotecnología. Es necesario reforzar la investigación científica, aplicada y el desarrollo tecnológico en esta área.

Ingeniería de diseño y diseño mecatrónico

- a) *Diseño de productos.* El diseño de productos en México ha tenido un crecimiento muy lento, más de lo deseable. Por lo que es indispensable reforzar esta área interdisciplinaria para producir diseños con alto valor tecnológico; sus aplicaciones van desde los juguetes y artículos de uso cotidiano hasta los más sofisticados elementos necesarios para la investigación científica. Al realizar diseños interdisciplinarios se puede dotar de autonomía e inteligencia artificial a los productos. Esto es conocido como diseño mecatrónico.
- b) *Diseño de maquinaria y equipo.* El diseño y fabricación de equipos y máquinas de producción es indispensable para fortalecer el sistema productivo nacional en todas sus áreas; desde la agrícola y forestal, la minera y de explotación petrolera, hasta las aplicaciones en ingeniería aeroespacial.

Termofluidos

- a) *Control de emisiones.* Es un hecho que el cuidado ambiental es indispensable; este objetivo se puede lograr por un lado, al reducir el gasto energético que tienen las empresas. Por otro lado, una cuidadosa aplicación de las investigaciones científicas redundará en beneficios tangibles para la empresa, la sociedad y el medio ambiente.
- b) *Modelado de flujos de fluidos y partículas.* La investigación científica básica y aplicada que se realiza en estas áreas se puede aprovechar para ofrecer ventajas estratégicas; por ejemplo, las investigaciones realizadas en los flujos de grano y en la emisión de partículas al ambiente, al aplicarse permiten el mejor diseño de sistemas de almacenamiento y producción en el primer caso y de protección civil en el segundo.

Mecatrónica

- a) *Automatización industrial.* Es necesaria para competir en el mundo global; al implementarla se mejora la calidad tanto del producto como de las acciones realizadas por las personas. La automatización no debe ser vista como un generador de desempleo, sino como una fuente de empleo humanizado en el que las máquinas ayuden a las personas a realizar aquellas actividades en las que no deben estar involucradas directamente por ser repetitivas o peligrosas.
- b) *Control industrial de procesos.* En las áreas de modelado de fenómenos y su control se realizan importantes aplicaciones a nivel nacional; es necesario fortalecer estos estudios científicos y llevar sus aplicaciones a la práctica y adaptarlas a las condiciones reales de la industria.
- c) *Robótica.* Se tienen grandes oportunidades en la robótica industrial; como el diseño de efectores terminales y el diseño de algoritmos de control que permitan la aplicación de herramientas de inteligencia artificial. En la robótica de servicio se realizan importantes esfuerzos en el diseño de robots asistenciales, de rehabilitación y mejora de las condiciones de vida de las personas con alguna discapacidad. Dentro de la robótica de exploración se requiere fortalecer el desarrollo para impulsar sus aplicaciones aéreas, submarinas y de rescate.

REFLEXIÓN FINAL

La evolución de las ingenierías acompañará el surgimiento de modelos sustentables como el uso de energías no contaminantes. Asimismo, se desarrollarán nuevas prácticas de la ingeniería en biomedicina, materiales, electrónica y telecomunicaciones. Por otro lado, se espera una revolución de los materiales como en: a) la nanoingeniería que hará que los productos “crezcan por dentro” sin que se extiendan hacia afuera; b) la biología que influirá fuertemente en las ingenierías, así como estas en ella; c) los instrumentos de la ingeniería tendrán no sólo partes orgánicas, sino

que estas determinarán su diseño; d) la crisis ecológica condicionará el desarrollo de los proyectos productivos y, por lo tanto, la práctica de las ingenierías estará sometida a las presiones de las demandas sociales y del mercado.

Los campos profesionales gravitarán alrededor de las ingenierías básicas (civil, mecánica, eléctrica, química) e incorporarán nuevos campos y prácticas profesionales; por ejemplo: ingeniería genética, teleinformática, ingeniería de materiales, nanotecnología, aeronáutica, etcétera. Adicionalmente, continuará la demanda de ingenieros para resolver los rezagos en agricultura, energía, comunicaciones, teleinformática y se tendrá que trabajar sobre nuevos campos, tales como la biónica, la mecatrónica y la telemática (ANFEI, 2007).

Se debe promover el impulso de áreas como el diseño de equipo de manufactura y de prueba para mejorar la productividad y la calidad de alta tecnología y automatización. Los modelos implementados deberán impulsar una combinación más favorable entre el conocimiento y la mano de obra de bajo costo. Ya muchas compañías han iniciado la conformación de grupos propios para el diseño de equipo. Asimismo, se debe impulsar el desarrollo de producto. Algunas plantas en México ya han iniciado su independencia tecnológica y de soporte de corporativos extranjeros. También, avanzan en el rediseño de productos y procesos; y algunas compañías ya desarrollan nuevos productos.

Otros campos de acción críticos en el futuro cercano son los relacionados con energías alternativas, bioingeniería, biomédica, aplicaciones de la electrónica, nanotecnología y el aprovechamiento del agua.

La ciencia básica es fundamental ya que sienta las bases para todo el desarrollo, pero es necesario lograr que ese conocimiento sea aplicado en el desarrollo de nuevos productos. Al innovar con nueva tecnología, métodos, etcétera, la ciencia aplicada lleva soluciones a la sociedad e impulsa el desarrollo del país; por lo que es indispensable apoyar la creación de grupos interdisciplinarios e interinstitucionales de las diferentes ramas de la ingeniería para potenciar el desarrollo de las áreas mencionadas y así

aprovechar las capacidades, el conocimiento y entusiasmo de los grupos para definir e implementar las aplicaciones en el desarrollo científico y tecnológico del país.

Las ingenierías deben jugar el papel estratégico de dar viabilidad a sus naciones contribuyendo a mejorar su producto interno bruto, mediante la investigación científica, el desarrollo tecnológico, la innovación, la expansión, modernización y conservación de sus infraestructuras y destacadamente, por la formación y especialización de más y mejores profesionistas para lograr la debida articulación del sistema de generación y transferencia de conocimientos con el sistema de producción de bienes y servicios (Rascón, 2010).

Es necesario fomentar el trabajo interdisciplinario entre ciencia y tecnología. Ingeniería se debe reunir con química, física, biología y medicina para resolver grandes retos. Los ingenieros deberán poseer las habilidades para comunicar sus diseños a través de todos los medios electrónicos y de comunicación de datos. El mundo de la ingeniería se está volviendo más electrónico y digital cada día, por lo que los ingenieros serán más globales y equipos de ingenieros trabajarán alrededor del mundo en un solo proyecto, por lo cual los ingenieros deben ser bilingües o multilingües (ASME, 2011).

REFERENCIAS

- American Society of Mechanical Engineers-ASME (2011). *The State of Mechanical Engineering: Today and Beyond*. Obtenido en: <https://www.asme.org/getmedia/752441b6-d335-4d93-9722-de8dc47321de/State-of-Mechanical-Engineering-Today-and-Beyond.aspx>
- Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Ingeniería-ANFEI (2007). *Ingeniería México 2030, Escenarios de futuro*. México: ANFEI.
- Huber, P.W. y Mills, M.P. (2005) The end of the M.E.? En *Mechanical Engineering*, 127, Estados Unidos: American Society of Mechanical Engineers.
- Rascón Chávez, O. (2010) *Estado del arte y prospectiva de la educación en ingeniería en México y en el Mundo*. Academia de Ingeniería de México. Obtenido en: http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/edodelarte/2010/10.prospectiva_de_la_ingenieria_en_mexico_y_en_el_mundo.pdf

BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL EN MÉXICO: RETOS Y DESAFÍOS

*Elías Razo Flores**

Es un hecho que México, por sus características y diversidad biológica, tiene retos importantes en el área de biotecnología ambiental. En este texto me enfocaré sólo en dos sectores que considero son los más importantes por sus implicaciones actuales y futuras para el desarrollo de nuestro país: agua y energía.

SITUACIÓN ACTUAL EN EL SECTOR AGUA

El agua es uno de los recursos naturales sujeto a una gran presión por la alta demanda para su uso en prácticamente todas las actividades humanas. Debido a sus características geográficas, en México se distinguen dos zonas contrastantes con disponibilidad de agua promedio: en el Sur-Sureste se tiene una disponibilidad siete veces mayor que en el resto del país; mientras que en el Centro y Norte, donde vive 77% de la población y se genera 85% del producto interno bruto (PIB), se tiene solo 32% de la disponibilidad de agua promedio (Conagua, 2005). Esta situación ha provocado la sobreexplotación de acuíferos con todos los problemas que esto conlleva.

Por otro lado, la mayoría de los cuerpos de agua superficiales reciben diversas corrientes, principalmente aguas residuales municipales, industriales o derivadas de actividades agrícolas las cuales producen distintos niveles de contaminación. Estudios efectuados por la Comisión Nacional

* Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

del Agua (Conagua) en 535 cuerpos de agua indican que 27% de ellos presentaba una calidad entre excelente y aceptable, 49% presentaba un bajo nivel de contaminación y 24% presentaba un alto nivel de contaminación; lo que hace imposible su uso.

Es importante hacer notar que la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos suspendidos totales (SST) son los únicos criterios usados para definir la calidad de aguas superficiales. Datos oficiales reportan que el consumo de agua fresca de primer uso en el país está sobre los 72 km³/año; destaca que casi 80% se usa en actividades agrícolas; situación que coloca a México como uno de los líderes en el rubro (Conagua, 2005).

Aguas residuales y su tratamiento

En el rubro de aguas residuales municipales se generan 255 m³/s que liberan más de 2 millones de toneladas de DBO; en los sistemas de drenaje se colecta cerca de 90% del total y se trata sólo cerca de 40% del caudal generado, removiéndose 32.5% de la DBO generada (Conagua, 2012). En el caso de las aguas residuales industriales la situación no es muy distinta; se generan 212.6 m³/s que liberan más de 13 millones de toneladas de DBO, en el mejor de los casos se trata solo cerca de 30% del caudal generado y removiéndose tan sólo 10% de la DBO generada (op.cit.).

Los sectores industriales que más contribuyen en caudal generado son: la azucarera 28%, la petrolera 19%, la agropecuaria 17% y la química 6% son estos también la principal fuente de liberación de xenobióticos al ambiente.

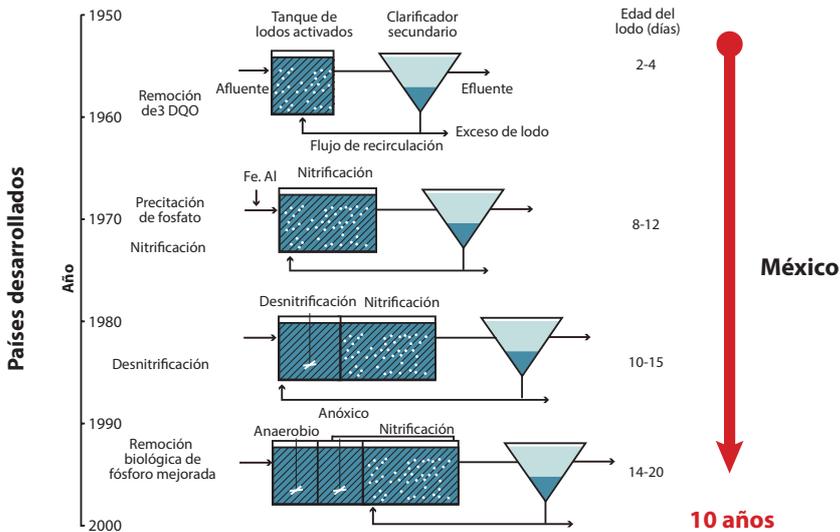
Se estima que cerca de 40% de la capacidad de tratamiento instalada se basa en el sistema convencional de lodos activados y sólo cerca de la mitad de todas las plantas de tratamiento opera con eficiencias de remoción de DBO mayores a 50%. La mayoría de las plantas de tratamiento fueron diseñadas para la remoción de DBO; sólo las más recientes remueven nitrógeno en cierto grado y muy pocas plantas cuentan con digestores de lodos residuales. El agua residual que no es tratada se descarga directamente al sistema de drenaje o bien a cuerpos superficiales lo que exacerba el

problema de contaminación. Es importante notar que diversas corrientes derivadas de actividades agrícolas y ganaderas no están cuantificadas, al igual que los lixiviados producidos en rellenos sanitarios y tiraderos a cielo abierto los cuales son altamente contaminantes.

RETOS EN EL SECTOR AGUA

En México se han hecho importantes inversiones en el sector en los últimos 10 años; es claro que la brecha entre lo generado y lo tratado es aún muy grande. Por lo que es esta una gran área de oportunidad.

Al observar el desarrollo histórico de los sistemas de tratamiento, utilizados en los países desarrollados, para dar respuesta a las estrictas regulaciones de calidad de descarga, queda claro que se requirieron casi cinco décadas para alcanzarlo (véase la figura 1).



Fuente: Adaptación de Ternes y cols., 2004.

Figura 1. Desarrollo histórico de los procesos biológicos de tratamiento de efluentes en países desarrollados. (La flecha indica que en México, al tener recursos económicos suficientes, se podría alcanzar las condiciones de descarga similares en sólo 10 años).

El aún incipiente nivel de aplicación de la biotecnología ambiental en México ofrece una clara oportunidad de promover el uso de tecnología avanzada. Indudablemente el país no tendría que recorrer el mismo largo camino; no obstante, el desafío es aplicar sistemas de tratamiento acordes a nuestras necesidades y en un plazo no mayor a 10 años. Se requieren sistemas relativamente sencillos que remuevan de manera conjunta DBO, DQO y nutrientes; a la par deben minimizar la producción de lodo residual y destruir agentes patógenos. Desde mi particular perspectiva, son tres los tipos de reactores que pueden cumplir esos objetivos.

Reactor secuencial en lote (SBR)

Está basado en el proceso de lodos activados; opera en una secuencia de ciclos de llenado y vaciado y puede trabajar con biomasa suspendida o fija (Buitrón, Razo-Flores, Meraz y Alatraste-Mondragón, 2006). Su principal característica es que todas las operaciones se realizan en un solo tanque de manera secuencial y donde el flujo, mezclado, aireación y volumen de operación son variables de acuerdo a la estrategia operacional predeterminada.

Usualmente un SBR opera bajo 4 fases claramente definidas: llenado, reacción, sedimentación y vaciado; para luego iniciar nuevamente otro ciclo. Por sus características de operación –y debido a los frecuentes cambios de condiciones (aerobias, anóxicas y anaerobias)– permite el establecimiento de comunidades microbianas capaces de remover materia orgánica y llevar a cabo procesos como nitrificación, desnitrificación, remoción de fósforo y biodegradación o biotransformación de ciertos xenobióticos. El SBR es apropiado para el tratamiento de efluentes municipales e industriales ya que genera efluentes con calidad adecuada para el reúso ((Buitrón, et al, 2006).

Reactor biológico de membrana (MBR)

Este reactor combina un proceso aerobio o anaerobio con un módulo de membranas que tiene la función de retener la biomasa y clarificar el

efluente. El MBR permite la retención de altas concentraciones de biomasa e incrementa el tiempo de retención celular; esto permite tanto en la remoción de compuestos específicos (de difícil biodegradación en otras circunstancias) como una reducción considerable del tamaño del reactor. El efluente producido es muy bajo en sólidos suspendidos totales (SST), turbidez, DBO y en patógenos.

Adicionalmente, la producción de lodo residual se reduce en un factor de 2 a 3 y disminuye los costos totales de operación. El MBR se puede integrar fácilmente a los procesos industriales y permite el tratamiento *in situ* y la inmediata reutilización del agua; también reduce los costos de producción asociados a su consumo. Además, el MBR es excepcionalmente versátil por lo cual se puede incluir en el diseño de nuevas plantas como en la actualización y mejoramiento de plantas ya existentes (Daigger, Rittmann y Andreottola, 2005).

Reactor de lecho de lodo con flujo ascendente (UASB)

Es uno de los reactores anaerobios de mayor uso a nivel mundial para el tratamiento de un extenso espectro de efluentes industriales y municipales. El éxito del reactor recae en el establecimiento de un denso lecho de lodo granular compuesto por comunidades microbianas balanceadas en asociación sintrófica; la concentración puede llegar a los 50 kg SSV/m³ y permite que los reactores sean de tamaño compacto. Una de sus principales ventajas, a la par de producción de energía en forma de metano, es su baja producción de lodo residual; el cual ya está estabilizado y no requiere de tratamiento posterior.

El reactor UASB puede ser utilizado para el tratamiento de efluentes municipales, en sistemas descentralizados y el efluente producido puede ser usado para irrigación en agricultura. También, es una excelente opción para el tratamiento de efluentes agroindustriales y de la industria de alimentos con alta concentración de materia orgánica, lixiviados y, en el caso de ciertos clase de xenobióticos, es la única opción (Kleerebezem y Macarie, 2003).

Un grave problema de salud pública en el país es la presencia de coliformes fecales y huevos de helminto en agua municipal residual, tratada o no, así como en lodo residual sin tratar. Como ya se mencionó, muy pocas plantas cuentan con instalaciones para el tratamiento de lodo y las que las tienen son de aireación extendida. Estas instalaciones pueden ser modificadas para la aplicación de procesos de digestión aerobia termofílica autotérmica, los cuales producen sólidos clase "A".

Las plantas que se construyan en el futuro deben ser digestores anaerobios mesofílicos o termofílicos, cuyas ventajas incluyen una mejora en la reducción de sólidos, producción de energía y una reducción significativa de los agentes patógenos.

Finalmente, aunque el destino de microcontaminantes presentes en aguas residuales puede ser visto como un asunto bastante lejano en el tiempo, su presencia debe ser considerada como un asunto prioritario. Se espera un incremento considerable en el reúso de agua tratada (Levine y Asano, 2004).

Los avances en investigación en el tema han mostrado que ciertas acciones realizadas en las plantas de tratamiento para reducir la concentración de nitrógeno y fósforo, también reducen de manera significativa las concentraciones de cierto tipo de compuestos farmacéuticos y productos de cuidado personal (Ternes, Joss y Siegrist, 2004). Es realmente alentador que las acciones efectuadas en las plantas de tratamiento para reducir la concentración de nutrientes también ayuden a reducir la concentración de este nuevo tipo de contaminantes.

SITUACIÓN ACTUAL EN EL SECTOR ENERGÍA

México es un país altamente dependiente de la energía derivada de recursos fósiles; la bioenergía sólo abastece 5% (432PJ en 2008) de la energía primaria, utilizándose principalmente leña, bagazo de caña y carbón vegetal. Se estima que el potencial actual de los recursos bioenergéticos en México puede producir hasta 3569 PJ, equivalente a 46% de la oferta interna bruta de energía primaria en 2008; diez veces más que la que se usa actualmente (Rembio, 2011).

Recientemente, con el fin de ser menos dependientes de los combustibles fósiles y cumplir con los compromisos internacionales de disminución de emisiones de CO², el gobierno mexicano decidió diversificar las fuentes de energía y en 2008 publicó la Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos. Como parte de estos compromisos, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) planeó incrementar su plataforma de producción de electricidad con base en fuentes renovables para llevarla de 3.9% en 2008 a 50% para el año 2050. En el mismo sentido, Petróleos Mexicanos (PEMEX) ha planteado adicionar etanol a sus gasolinas.

Si bien el país tiene cierta capacidad para producir bioenergéticos, principalmente de primera generación –tales como biodiesel, biogás y bioetanol (la capacidad actual de producción de etanol asciende a 350 m³/d)– es recomendable que México enfoque sus esfuerzos y capacidades para producir bioenergéticos de segunda y tercera generación.

RETOS EN EL SECTOR ENERGÍA

La producción de bioenergía debe estar basada en conceptos de sustentabilidad ambiental, económica y social. En nuestro país, donde no somos autosuficientes en la producción de alimentos no es ético pensar en cambiar la agricultura de producción de alimentos por una de producción de energía (*food vs. fuel*). México cuenta con un amplio potencial de fuentes de biomasa; los subproductos agrícolas, efluentes agroindustriales, etcétera, pueden construir una plataforma de bioenergéticos que contribuyan, en el futuro, con un porcentaje importante a la oferta energética nacional.

Biorrefinería

En los últimos años se han hecho esfuerzos importantes, a nivel mundial, dentro del área de ingeniería química para desarrollar tecnologías eficientes y con bajo impacto ambiental. Esto ha permitido el procesamiento de biomasa para ser empleada como materia prima en procesos de conversión

termoquímica y bioquímica. La transformación de biomasa en compuestos de alto valor agregado es confrontada por el desafío de desarrollar plataformas tecnológicas competitivas.

El concepto de biorrefinería (Boeriu, van Dam y Sanders, 2005) permite la integración de una mezcla compleja de procesos –pretratamiento, tecnología de fermentación, catálisis enzimática, síntesis química y tecnología de separación– para producir biocombustibles, químicos y energía; todas áreas de interés para la ingeniería química, bioquímica y biotecnología. La figura 2 presenta un esquema simplificado de una biorrefinería.

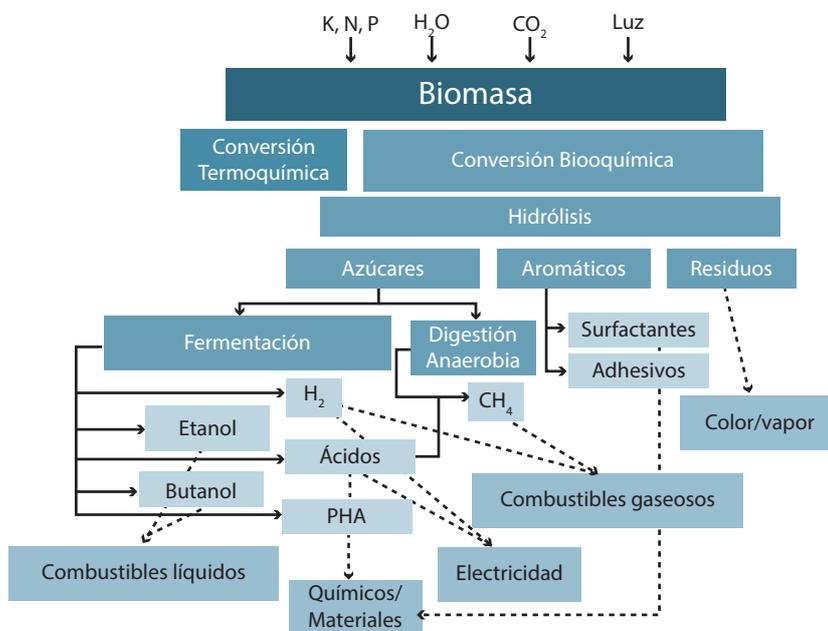


Figura 2. Esquema simplificado de una biorrefinería para la producción de biocombustibles y especialidades químicas a partir de biomasa.

El país debe desarrollar plataformas tecnológicas para, a partir de residuos lignocelulósicos, producir biocombustibles líquidos tales como: bioetanol y biobutanol (biogasolina); biocombustibles gaseosos como biometano y biohidrógeno; y compuestos base que sirvan como materia prima para la producción de especialidades químicas tales como 1,3-propanodiol

y ácido poliláctico. Estos se pueden emplear en la producción de polímeros biodegradables, recubrimientos, adhesivos, selladores, etcétera. Diversas empresas químicas y petroquímicas de nivel mundial llevan años incursionando en el tema (Hess, 2006) y actualmente, en algunos casos, ya cuentan con plantas a nivel industrial.

Biodiesel

México cuenta las condiciones para producir biodiesel de tercera generación a partir de microalgas. Su producción a partir de cultivos agrícolas requiere de una gran cantidad de áreas de cultivo lo cual la hace insostenible, si se contrasta con la producción a base de microalgas, que evita la competencia por áreas de cultivo. Dependiendo del tipo de microalga, el contenido de aceites puede llegar a ser de 80% del peso seco (Christi, 2007).

La producción de biodiesel se requiere CO_2 , que puede ser capturado de procesos industriales, así como agua que puede provenir de un proceso de tratamiento de aguas residuales diseñado ex profeso para remover materia orgánica y maximizar el contenido de nutrientes.

De manera similar al enfoque de biorrefinería, la producción de biodiesel puede producir etanol a partir de la fermentación de almidones y metano a partir de la metanogénesis de la bioamasa algal residual, entre otros combustibles.

ÁREAS DE OPORTUNIDAD

Debido al alto número de pasivos ambientales en el país, es indudable que se tienen que desarrollar procesos de biorremediación de suelos y acuíferos con el objetivo de recuperarlos para fines productivos. Adicionalmente, se prevé que un área que crecerá de manera exponencial es la minería; por lo que se deberá desarrollar tecnología de biolixiviación para evitar el uso de agentes altamente contaminantes y tóxicos durante las operaciones de lixiviación de minerales.

Otras áreas que también deberán desarrollarse son: la nanobiotecnología para el desarrollo de nuevos catalizadores; y la biotecnología blanca para el desarrollo de nuevos procesos industriales. Estos procesos utilizan nuevos materiales de origen biológico para evitar la generación o minimizar el uso de materiales tóxicos o recalcitrantes.

CONSIDERACIONES FINALES

La biotecnología ambiental tiene ante sí la gran oportunidad de promover la aplicación de tecnología sustentable para el tratamiento y reúso de agua residual. Es un hecho que el agua es un recurso natural escaso –principalmente en el Centro y Norte del país– y, por lo tanto, debe de ser visto como un asunto de seguridad nacional.

El país ha implementado la normatividad ambiental en el tema y es indudable que se han hecho grandes inversiones para incrementar la capacidad de suministro, drenaje y tratamiento. Sin embargo, aún se requieren inversiones más cuantiosas. Es imprescindible enfocar las baterías en una integración adecuada de la biotecnología ambiental para el tratamiento de agua y su reúso en el país para tener un crecimiento económico sostenido. Este, considero, es el principal reto para todos los involucrados en el tema *agua* en México.

En todos los casos expuestos anteriormente se deben de establecer políticas públicas que permitan, entre otras cosas, la aplicación de las siguientes acciones estratégicas:

- a) Definir un enfoque integral en la producción de bienes y servicios, así como un uso sostenible de los recursos naturales.
- b) Implementar un marco regulatorio y contar con incentivos fiscales.
- c) Desarrollar mercados para nuevos productos y tecnologías.
- d) Impulsar la formación y consolidación de grupos multidisciplinarios de investigación y desarrollo tecnológico en temas prioritarios, implementación de proyectos piloto, demostrativos y de transferencia.
- e) Crear programas intersectoriales con objetivos y metas específicas (Sener, SEP, Semarnat, Sagarpa, SSA, etcétera).

REFERENCIAS

- Boeriu, C.G., van Dam, J.E.G. y Sanders, J.P.M. (2005). Biomass valorisation for sustainable development. En: Lens, P., Westermann, P., Haberbauer, M. y Moreno, A. Eds. *Biofuels for fuel cells. Renewable energy from biomass fermentation*. London: IWA Publishing.
- Buitrón, G., Razo-Flores, E., Meraz, M., Alatríste-Mondragón, F. (2006). Biological wastewater treatment systems. En: Cervantes, F., Pavlostathis, S. y van Haandel, A. (Eds.). *Advanced Biological Treatment Processes for Industrial Wastewaters: Principles and Application* (pp. 141–180). London International Water Association.
- Christi, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. En: *Biotechnology Advances*. DOI: 25: 294-306.
- Conagua (Comisión Nacional del Agua) (2005) *Síntesis de las Estadísticas del Agua en México*. México: Conagua.
- Conagua (Comisión Nacional del Agua) (2012). *Atlas del Agua en México*. México: Conagua.
- Daigger, G.T., Rittmann, B.E. y Andreottola, G. (2005). Are membrane bioreactors ready for widespread application?. *Environmental Science and Technology*. 39(19), 399A-406A.
- Hess, G. (2006). British Petroleum and Dupont plan “Biobutanol”. *Chemical Engineering News*. 84 (26), 9.
- Kleerebezem, R. y Macarie, H. (2003). Treating industrial wastewater: anaerobic digestion comes of age. *Chemical Engineering*. April, 56-64.
- Levine, A.D. y Asano, T. (2004). Recovering sustainable water from wastewater. *Environmental Science and Technology*. 38 (11), 201A-208A.
- Rembio (Red Mexicana de Bioenergía, A.C.) (2011). *La Bioenergía en México, situación actual y perspectivas*. Cuaderno temático No. 4. México: Red Mexicana de Bioenergía, A.C.
- Ternes, T.A., Joss, A. y Siegrist, H. (2004). Scrutinizing pharmaceuticals and personal care products in wastewater treatment. *Environmental Science and Technology*. 38 (20), 382A-399A.

SEMBLANZAS DE LOS AUTORES

Jesús Álvarez Calderón

Es ingeniero químico por la Universidad de Guadalajara (UdeG). Realizó estudios de maestría y doctorado en Ingeniería Química en la Universidad de Minnesota. Desde 1982 es profesor-investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Unidad Iztapalapa. En 2008, recibió el nombramiento de Profesor Distinguido de esa universidad. Es profesor adjunto de los posgrados en Ingeniería Eléctrica y Control de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y de Ingeniería Industrial en la Universidad de Cagliari, Cerdeña, Italia. Fue director y dictaminador del Sistema Nacional de Investigadores; miembro de la comisión dictaminadora del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Fue asesor de Resistol y Comex donde sus trabajos se enfocaron en el diseño y desarrollo de grupos de ingeniería básica, proyectos de investigación y desarrollo tecnológico. Es miembro del Consejo Consultivo del Rector General de la UAM.

Jesús Manuel Dorador González

Estudió Ingeniería Mecánica y Eléctrica en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) donde realizó la maestría en Ingeniería Mecánica. Obtuvo el grado de doctor en la Universidad de Loughborough, Inglaterra. Jefe del Departamento de Ingeniería Mecatrónica y profesor titular "C" de tiempo completo en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, ha impartido asignaturas en las áreas de diseño, manufactura y automatización, tanto a nivel licenciatura como en posgrado. Participó en la creación de la licenciatura, maestría y doctorado en Ingeniería Mecatrónica y actualmente participa en la creación de la licenciatura en Ingeniería en Sistemas Médicos; asimismo, colabora en la creación del Centro de Ingeniería Avanzada. Es jefe de proyectos en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Fue presidente de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica durante el periodo 2006-2008. En el año 2006 recibió la distinción Universidad Nacional para Jóvenes Académicos en el área de docencia en ciencias exactas.

Adalberto Noyola Robles

Ingeniero ambiental por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), cursó la maestría y el doctorado en ingeniería en el Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas (INSA) de Toulouse, Francia. Es investigador titular “C” en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (II-UNAM) donde, desde 2008, tiene el cargo de Director. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI), nivel III. Su línea de investigación es el tratamiento de aguas residuales y lodos por vía biológica en particular los procesos anaerobios. Ha sido vicepresidente y presidente de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería A.C (1994-1996); presidente de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental A.C. (1996-1998); y presidente de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS) para el bienio 2006-2008. Es miembro del Colegio de Ingenieros Ambientales de México A.C., de la Academia de Ingeniería A.C. y de la International Water Association (IWA). Algunos de los reconocimientos a su trabajo académico son: Distinción Universidad Nacional para Jóvenes Académicos 1991; el Premio CIBA para la Innovación Tecnológica en Ecología 1993; y recibió en dos ocasiones (1992 y 1998) el Premio Universitario León Biálik.

Elías Razo Flores

Es ingeniero químico por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) y maestro en biotecnología por la Universidad Nacional Autónoma de México, graduándose con Mención Honorífica. El doctorado lo obtuvo en el Departamento de Tecnología Ambiental de Landbouwniversiteit Wageningen, Holanda. Se desempeñó como investigador científico “F” en el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) donde realizó actividades de investigación y desarrollo tecnológico de procesos biológicos. Actualmente ocupa el cargo de jefe de la División de Ciencias Ambientales, con la categoría de profesor investigador titular “C” definitivo en el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT). Es Investigador Nacional nivel III del Sistema Nacional de Investigadores; miembro de la Academia Mexicana de Ciencias y de la International Water Association. Es editor asociado de Water Science and Technology y de la Revista Latinoamericana de Recursos Naturales. En 2011 recibió el Premio “El Potosí” por sus logros profesionales por la magnitud e impacto de su trabajo y por su contribución al desarrollo institucional del IPICYT.

Daniel Reséndiz Núñez

Ingeniero civil y doctor en Ingeniería por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), realizó una estancia de investigación en la Universidad de Harvard. Destaca su labor como asesor en ingeniería de cimentaciones, por lo que ha sido miembro de la Comisión para la Reconstrucción de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México; del Comité Asesor en Seguridad Estructural del Gobierno del D.F.; y de la Comisión Consultiva Internacional para la Corrección Estructural de la Catedral Metropolitana de la Ciudad de México. Fue director del Instituto de Ingeniería y de la Facultad de Ingeniería de la UNAM; presidente de la Academia Mexicana de Ciencias; secretario general del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt); subdirector de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), durante dos periodos; y subsecretario de Educación Superior e Investigación Científica de la Secretaría de Educación Pública. Ha recibido alrededor de 25 premios y distinciones. Entre ellos destacan: Investigador Emérito de la UNAM, el Premio Nacional de Ciencias y Artes, el Premio Sourasky de Ciencias y el Premio Elías Sourasky Nacional de Ingeniería. Fue presidente del Patronato de la Universidad Autónoma Metropolitana. Es miembro de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles; de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos; de la Academia de Ingeniería; y miembro de honor del Colegio de Ingenieros Civiles de México. Actualmente es investigador del Instituto de Ingeniería.

Vinicio Suro Pérez

Estudió Ingeniería Geofísica en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Realizó estudios de doctorado en Ciencias Aplicadas de la Tierra (Geoestadística) en la Universidad de Stanford, Estados Unidos. Ha sido subdirector de Producción Región Sur y subdirector de Planeación y Evaluación de Petróleos Mexicanos (PEMEX)-Exploración y Producción. Ha recibido numerosos premios entre los cuales se encuentra la Medalla al Mérito Universitario Gabino Barreda de la UNAM; premio Acies a la Eficiencia que otorga la empresa Hylsa, S.A. de C.V., y el premio MacGee Fund para la Investigación de la Universidad de Stanford. Ha sido colíder en la Implantación de Estudios Integrales de Yacimientos y Grupos Multidisciplinarios en PEMEX-Exploración y Producción. Fue el líder en la documentación metodológica y volumétrica del Inventario de los Recursos Prospectivos de Hidrocarburos de México 2003-2004. Asimismo, estabilizó la producción de hidrocarburos en los campos gigantes Complejo Bermúdez y Jujo-Tecominoacan. Desde 2012 es Director General del Instituto Mexicano del Petróleo.

LÍNEAS DE ACCIÓN PARA EL FUTURO DE
la Ingeniería en México

Participación de los gremios profesionales en la formación de capacidad de ingeniería del país y el desarrollo de tecnologías

Propósito	Sentar las bases para el desarrollo de un modelo de comunicación y cooperación entre los subsistemas de investigación, la práctica profesional y la educación en la formación de capacidad de ingeniería en el país y su posible replicación en otros campos profesionales.
Antecedentes	<p>Si bien existen en el país organizaciones de clase mundial tanto para la investigación como para la formación de personal en ingenierías, los resultados de sus intervenciones no necesariamente convergen en mejoras generalizadas de la práctica profesional. Las asociaciones profesionales y las organizaciones gremiales deben jugar un papel mucho más activo en este proceso, que tanto las universidades como los centros de investigación deben reconocer y considerar.</p>
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> • Se propone partir de un ejercicio de identificación y selección de problemas que requieren nuevas soluciones o nuevas formas de abordarlos, basado en experiencias de ingenieros destacados en sus respectivos campos profesionales. • Un grupo de trabajo constituido expresamente para ese propósito diseñaría un instrumento de consulta escrito (una encuesta) y la circularía entre profesionales relacionados con la aplicación de que se trate, recibiría, clasificaría e interpretaría las respuestas y a partir de ello convocaría a una o más reuniones más restringidas por campos temáticos, a los que se invitaría expresamente a todos los grupos potencialmente interesados en cada uno, tanto los consolidados como los emergentes. Se procedería a la constitución de Consorcios (virtuales al principio) comprometidos en programas conjuntos. • En colaboración con académicos de instituciones con las capacidades requeridas se formularían en cada uno términos de referencia de proyectos específicos, a partir de los cuales se emitiría una convocatoria para presentación de propuestas de investigación, en cuya ejecución se esperaría que participaran estudiantes de maestría o doctorado y un comité de profesionales en ejercicio estaría a cargo del seguimiento de los avances y de la difusión de las posibles tecnologías derivadas entre los ingenieros del gremio correspondiente (en caso necesario se acordarían previamente los términos). • Se tomarían medidas para que los estudiantes de posgrado participantes se incorporasen al mercado de trabajo en condiciones ventajosas.

Impacto potencial	Se propiciaría un clima de comunicación y colaboración creciente entre investigadores, profesores y profesionales en ejercicio, a propósito de problemas que les afectan a los tres, aunque de diferentes maneras: los nuevos conocimientos generados se incorporarían a los planes de estudios y se difundirían entre los profesionales; éstos, por su parte, plantearían nuevas preguntas de investigación e intercambiarían experiencias de aplicación, lo que abriría permanentemente oportunidades de mejora.
Instituciones participantes	Universidades, centros de investigación, gremios y asociaciones profesionales y empresas relacionadas con los campos respectivos (por ejemplo la industria de la construcción).
Tiempo estimado	La consulta inicial para identificación de problemas tomaría unos 4-6 meses y la jerarquización y selección, 2 meses más. La convocatoria, levantamiento y calificación de propuestas podría requerir otros 2-3 meses.
Recursos necesarios	Los ejercicios de consulta y clasificación podrían costar hasta 1.5 millones de pesos y la evaluación de las propuestas recibidas, 0.5 millones más. El financiamiento de cada uno de los proyectos aceptados quedaría a cargo de los interesados en su realización pero podría negociarse una aportación parcial en la forma de fondos concurrentes por parte del Conacyt o de alguna de las organizaciones gremiales o productivas participantes.

**Centros de Diseño Mecánico de iniciativa público-privada,
abiertos a la realización de proyectos de empresas**

Propósito	Diseñar y poner en marcha una unidad que se denominará Centro de Diseño Mecánico, que podría después utilizarse como modelo para desarrollar otras, distribuidas convenientemente en el territorio nacional.
Antecedentes	El diseño de elementos, mecanismos, dispositivos o equipos mecánicos es una actividad crítica no sólo por su contribución tanto a la realización de la función a la que atienden como a mejorar las relaciones valor/costo a todo lo largo de la vida útil de los productos de los que forman parte. Independientemente del respaldo de conocimientos que supone, a diseñar se aprende diseñando.
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> • Se propone constituir temporalmente un grupo de trabajo para formular especificaciones preliminares de los Centros de Diseño Mecánico, dirigidos a facilitar a profesionales de ingeniería mecánica y sus ramas afines, así como a empresas interesadas en desarrollar capacidades de diseño, la realización de proyectos de su interés en espacios exclusivos altamente equipados, reservados durante el tiempo necesario en cada caso, localizados alrededor de talleres completos y actualizados y atendidos por personal experto que, a petición suya, pueda proporcionar apoyos técnicos especializados. • El grupo estaría integrado por profesionales conocedores de los ciclos de diseño, los materiales, los procesos y tecnologías de producción y los nuevos equipos y técnicas tanto mecánicas como administrativas, respaldados por investigadores y especialistas enterados del avance de los conocimientos científicos y las soluciones tecnológicas en uso y en prospecto. • Perseguirían como resultado la producción de una propuesta iniciadora que pudiera circularse entre líderes tanto empresariales como de instituciones de investigación y desarrollo potencialmente interesadas en participar en un primer proyecto de prueba (preferentemente aquéllos que cuenten ya con alguna infraestructura y talento que estén dispuestos a aportar o compartir). • Los interesados concertarían entre sí los términos de su cooperación y generarían un Plan de Desarrollo, que sería el pivote para poner en marcha esta primera unidad. El grupo de trabajo daría seguimiento y elaboraría, en su caso, un proyecto de difusión, a la manera de una franquicia, para extender los beneficios derivados a todo el país.

Impacto potencial	<ul style="list-style-type: none"> • Se contribuiría a constituir para el país una de las capacidades más significativas para la producción y la innovación. • Se pondría a disposición y al alcance de las empresas infraestructura costosa que de otra manera quedaría fuera de su alcance. • Se daría lugar a desarrollos tecnológicos originales que podrían transferirse e incluso exportarse.
Instituciones participantes	<p>Universidades y Centros de Investigación, principalmente en entidades federativas tales como Nuevo León, Jalisco, Guanajuato, Querétaro, Puebla y Veracruz.</p> <p>Empresas de giros industriales intensivos en equipo mecánico e instalaciones.</p>
Tiempo estimado	<p>El modelo conceptual de los centros de diseño podría concluirse en unos 3 meses; la concertación de la primera unidad requeriría probablemente 6 meses más.</p>
Recursos necesarios	<p>La caracterización y elaboración del modelo podría costar hasta 1.5 millones de pesos y el Plan de Desarrollo de la unidad de prueba otro tanto. En ambos casos podría negociarse una aportación concurrente del Conacyt, en el supuesto de que la institución interesada también participará. La inversión en infraestructura que se requiera podría financiarse con fondos Conacyt.</p>

Consortio de investigación y desarrollo tecnológico para proyectos de la industria petrolera

Propósito	<p>Integrar capacidades de investigación existentes en México en un programa concertado con Pemex que, además de generar nuevos conocimientos y tecnologías en respuesta a demandas suyas, contribuya a sentar las bases de un Consorcio de Investigación para la industria petrolera.</p>
Antecedentes	<p>En alguna medida, las tecnologías que se utilizan en PEMEX para exploración, explotación y producción se inspiran en desarrollos con buenos resultados comprobados en otros países y otras empresas. Esta forma de operar da lugar a diferencias en costos o a aprovechamiento sub-óptimo de sus recursos.</p> <p>Si bien el IMP ha hecho contribuciones significativas en este sentido, sus capacidades son limitadas frente al teto de apoyar la innovación y el desarrollo tecnológico de la industria petrolera nacional. Para complementarlas podrían potenciarse y aprovecharse grupos existentes en otras instituciones del país o del extranjero. Podría considerarse inclusive montar nuevas en caso necesario.</p>
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> • Se propone partir de un censo de capacidades instaladas de investigación y desarrollo como primer paso para la integración de un posible programa conjunto tanto de atención a proyectos especificados y solicitados por Pemex como de formación de capacidad para atender a necesidades tecnológicas características de los crudos y las condiciones de explotación y producción de PEMEX, que debieran ser motivo de investigación y desarrollo diferenciados. • De común acuerdo con PEMEX, integrar una cartera básica de proyectos de investigación de su interés, perfilar cada uno de los proyectos que la integren y convocar a una reunión de las instituciones interesadas en participar, a partir de la cual se asignarían proyectos específicos a instituciones individuales o bien a consorcios entre algunas de ellas. • También se explorarían posibles acuerdos de colaboración con instituciones de otros países, a través de los cuales el personal mexicano adquiriría dominio (conocimientos y experiencia), de modo que pudiera enfrentar por sí mismo proyectos similares en el futuro. • Las relaciones de colaboración así iniciadas se transformarían progresivamente en vínculos permanentes para integrar un verdadero Consorcio interinstitucional de Investigación capaz, más adelante, de concebir y diseñar propuestas propias.

Impacto potencial	<ul style="list-style-type: none"> • La cartera de investigación, tanto científica como tecnológica, respondería mejor a las características de las aplicaciones en el país. • Crecería progresivamente la contribución de las instituciones mexicanas lo que contribuiría significativamente a la formación de capacidad. • Se estimularía la cooperación interinstitucional.
Instituciones participantes	Universidades y centros de investigación en todo el país, PEMEX, Secretaría de Energía, Secretaría de Energía.
Tiempo estimado	La cartera inicial de proyectos podría quedar totalmente integrada en 12 meses; la habilitación de algunas de las instituciones participantes requeriría 2-3 años más.
Recursos necesarios	<p>El censo y evaluación de capacidad instalada podría costar unos 2 millones de pesos; la elaboración de la cartera, unos 3 millones más.</p> <p>Los fondos necesarios para respaldar el desarrollo de capacidad podrían obtenerse de Pemex y Conacyt, tanto a través del respectivo Fondo Sectorial como de programas específicos con los que cuenta cada uno.</p>

Alianza para proyectos de ingeniería dirigidos a crear valor económico a partir de aplicaciones de la Biotecnología al aprovechamiento efectivo de recursos naturales y a la racionalización del desperdicio en procesos agrícolas o industriales.

Propósito	Establecer un consorcio virtual con la participación de especialistas, empresas e instituciones que, con el respaldo de investigación científica, constituya una oferta pertinente de proyectos de ingeniería en aspectos de óptima utilización de los recursos.
Antecedentes	La mayor parte de los procesos productivos, tanto los primarios como los industriales, utilizan sólo parcialmente algunos de sus insumos; los excedentes, que suelen designarse como desperdicios (o sinónimos suyos) pueden en muchos casos aprovecharse en otros procesos económicos, sea en la producción de energía o como insumos en otros procesos industriales de alto valor.
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> • En una primera etapa, constituir un grupo de trabajo integrado por instituciones de investigación y de educación superior con experiencia y reconocimiento en desarrollo de aplicaciones de la Biotecnología en campos como la energía, el aprovechamiento de los recursos hídricos, la preservación del medio ambiente o la transformación de biomasa en compuestos de alto valor, para elaborar una propuesta de cooperación en proyectos de ingeniería encaminados a alguno de esos propósitos. Establecer acuerdos básicos incluyendo tanto los campos como los términos de la colaboración y formular un documento iniciador tentativo para ser presentado a empresas y organizaciones interesadas en los servicios que se les ofrecerían. • Simultáneamente, poner en marcha la elaboración de un directorio de instituciones y especialistas con calificaciones y experiencia probadas en proyectos de ingeniería e interesados en incorporarse. • Convocar a una o más reuniones con grupos de interés tales como productores industriales o agrícolas, firmas de ingeniería, administraciones municipales, etc., para explorar oportunidades específicas en que proyectos biotecnológicos podrían contribuir a mejorar sus resultados. Integrar, a partir de este ejercicio, una agenda tentativa. • Generar una serie de mesas de trabajo con agencias públicas o privadas potencialmente beneficiarias de algunos de los proyectos identificados e iniciar negociaciones específicas a partir de la integración de equipos interinstitucionales e interdisciplinarios encabezados, en lo posible, por firmas de ingeniería participantes.

Impacto potencial	<ul style="list-style-type: none"> • En adición a los efectos económicos derivados directamente del mejor aprovechamiento de los insumos se contribuiría de manera significativa a reducir la contaminación y otros efectos sobre el medio ambiente y a aprovechar esquilmos y excedentes más cerca de donde se generan, lo que reduciría los costos de transportación. • Además, se daría lugar a tecnologías más ajustadas a las necesidades, características y escala económica de comunidades pequeñas y apartadas. • Por otro lado, el aprovechamiento de residuos y el reciclado de materiales es una vía básica para avanzar en el desarrollo sustentable.
Instituciones participantes	Universidades, empresas, firmas de ingeniería e instancias responsables de recursos naturales y medio ambiente en las distintas localidades.
Tiempo estimado	<p>El proceso completo desde la integración del grupo iniciador hasta la concertación de los primeros proyectos con las instituciones y otras instancias interesadas podría tomar 18-24 meses.</p> <p>En adelante, el número, complejidad y valor aportado de los proyectos se iría intensificando significativamente.</p>
Recursos necesarios	Si bien el costo del proceso de establecimiento de la alianza podría alcanzar valores importantes, dada la alta expectativa de impactos económicos considerables en el futuro podría esperarse que las instituciones participantes aportasen recursos de sus propios presupuestos "en especie", principalmente a través de personal comisionado. Muy probablemente podría obtenerse recursos complementarios a través del Conacyt y algunas otras agencias públicas para gastos adicionales propios del programa.

Créditos del programa
HACIA DÓNDE VA LA CIENCIA EN MÉXICO

CRÉDITOS DEL PROGRAMA

HACIA DÓNDE VA LA CIENCIA EN MÉXICO

Comité organizador: Jorge Flores Valdés, Enrique Cabrero Mendoza, José Antonio de la Peña, José Franco, Salvador Malo, Luis Mier y Terán, Sergio Revah, Julio Sotelo, Jaime Urrutia Fucugauchi, Francisco Valdés Ugalde y José Enrique Villa Rivera.

Comité técnico: Jaime G. de la Garza Salazar, Rigoberto Aranda Reyes, Ana del Río Guzmán, José Antonio Esteva Maraboto, Karla Rivas Salas, Víctor Muñoz Morales, Edmundo Álvarez Flores, Martha Beltrán y Tenorio.

Responsables de mesa: Julián Adolfo Adame, Martín Aluja, Carlos Arias, Raúl Arias Lovillo, Marcelino Barboza Flores, Francisco Barnés de Castro, Teresa Bracho, Carlos Campillo Serrano, Julia Carabias, Alberto Carramiñana, Rolando Cordera, Sabino Chávez Cerda, José Antonio de la Peña, Elder de la Rosa, Rodolfo de la Rosa Rábago, Mayra de la Torre, Raúl Delgado Wise, Agustín Escobar, Elva Escobar, Adrián Fernández-Bremauntz, Héctor Felipe Fix-Fierro, Daniel Flores Curiel, Ernesto Flores-Roux, Noé Arón Fuentes, Amanda Gálvez, Virginia García Acosta, Juan Eduardo García García, Carlos Gay, Samuel Gómez Noguera, Jesús González Hernández, Federico Graef, Luis Felipe Guerrero Agripino, Tonatíuh Guillén, Luis Miguel Gutiérrez, Adolfo Guzmán Arenas, Alejandro Hernández, Pedro Hugo Hernández, Inocencio Higuera, Eusebio Juaristi, William Lee, Soledad Loeza, Sergio López Ayllón, Marcelo Lozada y Cassou, José Luis Lucio, Guido Marinone, Ana María Martínez, Alicia Mayer, Marisa Mazari, María Elena Medina-Mora, Francisco Javier Mendieta, María Isabel Monroy, Dante Morán Zenteno, Pablo Mulás del Pozo, Guillermina Natera, Francisco P. Navarro Reynoso, Juan Nepote, Adalberto Noyola Robles, Lorenzo Olguín Ruiz, Sylvia Ortega, Jorge Padilla, Francisco Palomera, Ma. de Lourdes Patiño Barba, Elaine Reynoso Haynes, David Ríos, Mariano J.J. Rivera Meraz, Rafael Rivera, Oliverio Santiago Rodríguez Fernández, Enrique Ruelas

Barajas, Rosaura Ruíz, Beatriz Rumbos, Mario César Salinas, Antonio Sánchez Bernal, Víctor Sánchez-Cordero, Jorge Santamaría Fernández, Sylvia Schmelkes, Arturo Serrano Santoyo, Xavier Soberón, Julia Tagüeña, Ricardo Tapia Iburgüengoytia, Fernando Toro, Manuel Torres Labansat, Jaime Urrutia, Francisco Valdés Ugalde, Javier Velázquez Moctezuma y Guillermo Villalobos Zapata.

Ponentes: Adrián Acosta Silva, Julián Adolfo Adame Miranda, Carlos Aguilar, Luis Aguilar, Alfredo Aguilar Elguezabal, Ana María Aguilar Argaez, Raúl Aguilar-Roblero, Enrique Aguilar Rodríguez, José Antonio Alcántara, Víctor Alcaraz, Ismeli Alfonso, Sergio Almazán Esqueda, Ángel Alpuche Solís, Celia Alpuche-Aranda, Saúl Álvarez Borrego, Jesús Álvarez Calderón, Porfirio Álvarez, Jorge Ancheyta, Celestino Antonioli, Rigoberto Aranda, José Luis Arauz Lara, David Arellano Gault, Itziar Arextaga, Carlos Arias, Raúl Arias Lovillo, Pedro Arroyo Acevedo, René Asomoza Palacio, Alfredo Ávila Rueda, Juan Azorín Nieto, José Ramón Azpiri López, Joaquín Azpiroz, Marcelino Barboza, Francisco Barnés de Castro, Francisco Barnés Regueiro, Hugo Barrera, Rebeca Barriga Villanueva, Roger Bartra, Tim Baumgartner, Enrique Bazúa-Rueda, Valeria Belloro, Ricardo Benavides Pérez, Shoshana Berenzon, Carlos Beyer, Monserrat Bizarro, Martín Bonfil, Marco Borja, Carlos Bosch, Pedro Bosch, Felipe Bracho, Teresa Bracho, Héctor Bravo-Alfaro, Vicente Bringas, Estrella Burgos, Gerardo Cabañas Moreno, Enrique Cáceres Nieto, Aleida Calleja, Sergio Camacho Lara, Carlos Campillo, Alejandro Canales, Fernando Cano Valle, Blondy Canto, Julia Carabias, Rosario Cárdenas, Sergio Cárdenas, Anabela Carlón, Alberto Carramiñana, Alma Carrasco, Sergio Carrera Riva Palacio, Laura Carrillo, María Amparo Casar, Margarita Casas, Rosalba Casas, Gonzalo Castañeda Ramos, Eduardo Castañón, Víctor M. Castaño Meneses, Manuel Ángel Castillo, Francisco Castrejón, Gerardo Ceballos, Jorge Cerdio, Carlos Coello Coello, Rafael Colás Ortiz, César Andrés Conchello Brito, Óscar Fernando Contreras Montellano, Atilano Contreras Ramos, Rolando Cordera, Ricardo Córdova Quiroz, Fernando Cortés, Cristina Cortinas de Nava, José Ramón Cossío, Helena Cotler, Carlos Chávez, Sabino Chávez, Xavier Chiappa Carrara, Lars Christenson, Leonardo Dagdug Lima, Patricia Dávila Aranda, José de Anda, Romeo de Coss, María de Ibarrola, Camilo de la Fuente, Juan Ramón de la Fuente, Jaime G. de la Garza Salazar, Guillermo de la Peña, José Antonio de la Peña, Ramón de la Peña, Sergio de Régules, Rodolfo de la Rosa, Elder de la Rosa, Mayra de la Torre, Rafael del Villar, Guillermo Delgado Lamas, Raúl Delgado Wise, Ángel Díaz Barriga, Frida Díaz Barriga, Lorenzo Díaz Cruz, Néstor Díaz, Rufino Díaz, Alberto Díaz-Cayeros, Eloisa Díaz-Francés, Graciano Dieck Assad,

Paulette Dieterlen, Manuel Dorador González, César Augusto Domínguez, Anahí Dresser, Saurabh Dube, Jorge Durand, José Ramón Eguibar, Alexander Elbittar, Armando Encinas Oropeza, Agustín Escobar, Elva Escobar, Federico Escobar Sarria, Vladimir Escobar, Roberto Escudero, Luis Estrada, Andrés Fábregas Puig, Jesús Favela Vara, Héctor Felipe Fix-Fierro, Adrián Fernández-Bremauntz, Rafael Fernández de la Garza, Luca Ferrari, Daniel Flores Curiel, Julia Flores Dávila, Jorge Flores Valdés, Ernesto Flores-Roux, José Franco López, Noé Arón Fuentes, Isaura Fuentes, Luis Fuentes, Sergio Fuentes Moyado, Sergio Galina, Amanda Gálvez, Carlos García, Juan Eduardo García García, Mariano García Garibay, Jesús García, Fabián García Nocetti, Carmen García Peña, Martín García Varela, Virginia García Acosta, Ricardo María Garibay, Mario Garza, José Antonio Garzón Tiznado, Carlos Gay, Carlos Gershenson, Samuel Gitler, Luis Arturo Godínez, Gabriel Gójon, Samuel Gómez Noguera, José S. Guichard Romero, Tomás González Estrada, Jesús González González, Luis Fernando González Pérez, Jesús Felipe González Roldán, Carlos González Salas, José Miguel González Santaló, Jorge González-Sánchez, José Luis Gordillo Moscoso, José Gordon, Andrés Govela Gutiérrez, Federico Graef Ziehl, Manuel Grajales Nishimura, Víctor Guerra, Luis Felipe Guerrero Agripino, Gilberto Guevara Niebla, Diana Guillén, Tonatíuh Guillén, Constantino Gutiérrez Palacios, Luis Miguel Gutiérrez, Adolfo Guzmán Arenas, Roberto Guzmán Zamudio, Anne Hansen, Alejandro Hernández, Carlos Hernández García, Juan Hernández, Onésimo Hernández, Pedro Hugo Hernández, Fausto Hernández Trillo, Sergio Hernández Vázquez, Luis Herrera Estrella, Ismael Herrera Revilla, Inocencio Higuera, David Hiriart, Jorge Huacuz Villamar, Guadalupe Huelsz, Miguel Ángel Huerta Díaz, David H. Hughes, Roberto Iglesias Prieto, Eduardo Iglesias Rodríguez, Salma Jalife Villalón, Manuel Jiménez Dorantes, Luis Felipe Jiménez García, Héctor Juárez Valencia, Eusebio Juaristi, David Kershennobich, Patricia Koleff, Alberto Ken Oyama-Nakagawa, Mina Konigsberg, Esteban Krotz, Federico Kuhlmann, Alfonso Larqué, María Isabel Lázaro Báez, William Lee, Christian Lemaitre, Edgar Leonel Chávez, Gustavo Leyva, José Luis Lezama, Pablo Liedo Fernández, Alberto Lifshitz, Soledad Loaeza, Laurent Loinard, Sergio López Ayllón, José López Bucio, Lizbeth López Carrillo, Malaquías López-Cervantes, Hugo López-Gatell, Jorge López Portillo, Alejandro López Valdivieso, Yolanda López-Vidal, Rafael Loyola, Marcelo Lozada y Cassou, Fernando Lozano, Jesús Eduardo Lozano Ochoa, Rafael Lozano, José Luis Lucio, Francisco A. Llano, Salvador Lluch-Cota, Manuel Maass, Susana Magallón, Daniel Malacara, Salvador Malo, Guido Marinone, Ismael Mariño Tapia, Javier Márquez Diez-Canedo, César Martinelli Montoya, Ana María Martínez, Jorge Martínez, Martha

Martínez Gordillo, Alfredo Martínez Jiménez, Manuel Martínez Lavín, Adolfo Martínez Palomo, Omar Masera, José Luis Mateos Trigos, Alicia Mayer, Marisa Mazari, Magdaleno Medina Noyola, María Elena Medina-Mora, Enrique Mejía, Jorge Meléndez, Francisco Mendieta, Blanca Mendoza, Eduardo Mendoza, Fernando Mendoza, Víctor Manuel Mendoza, Carlos Merchán Escalante, Horacio Merchant Larios, Robert Meyers, Tomás Miklos, Francisco Miranda, Pedro Moctezuma Barragán, María Isabel Monroy, Alejandro Monsiváis, Luis Montaña Hirose, Ulises Mora Álvarez, Dante Morán Zenteno, Alfonso Morales, José Luis Morales, Miguel Ángel Moreles, Luis Moreno, Oscar Moreno-Valenzuela, Enrique Morett, Juan José Morrone Lupi, Mónica Moya, Pablo Mulás del Pozo, Stephen Mull, David Muñoz, Norma Patricia Muñoz Sevilla, Juan Carlos Murrieta, Guillermina Natera, Arnulfo Hernán Nava Zavala, Hugo Navarro, Francisco Navarro Reynoso, Dámaso Navarro Rodríguez, Ana Claudia Nepote, Juan Nepote, Humberto Nicolini, Rolando Nieva Gómez, Cecilia Noguéz, Adalberto Noyola Robles, Juan Núñez Farfán, Octavio Obregón, Patricia Ocampo, Lorenzo Olguín, Marina del Pilar Olmeda, Roger Orellana, Luis Orozco, Fausto Ortega, Fernando Ortega Gutiérrez, Sylvia Ortega, Benjamín Ortíz-Espejel, Patricia Ostrosky, Jorge Padilla González, Enrique Pacheco Cabrera, César Pacheco Tena, Federico Páez-Osuna, Carlos Pallán Figueroa, Francisco Palomera, Víctor Hugo Páramo, María del Carmen Pardo, Raúl Paredes Guerrero, Vicente Parra Vega, Susan Parker, Ma. de Lourdes Patiño, Manuel Peimbert, Eduardo Peña, Daisy Pérez Brito, Ramiro Pérez Campos, Alicia Pérez Duarte, Edward Peters, Alonso Picazo, Daniel Piñero Dalmao, Francisco Piñón Gaytán, Alejandro Pisanty, Gregorio Posada Vanegas, Enrique Provencio, Jean François Prud'homme, Martín Puchet, Mario Ramírez Cobián, Tonatiuh Ramírez Octavio, Jorge Ramírez-Solís, Francisco Ramos Gaudencio, Gerardo Ramos Larios, Gaudencio Ramos Niembro, Jesús Gabriel Rangel-Peraza, Elías Razo Flores, Justino Regalado, Teresita de Jesús Rendón, Daniel Reséndiz, Hortensia Reyes, Jorge Alejandro Reyes, Enrique Reynaud, Elaine Reynoso, Emilio Ribes, Horacio Riojas, Leonardo Ríos Guerrero, Ernesto Ríos Patrón, David Ríos Jara, Rafael Rivera, Sandra Rodil Posada, Alejandro Rodríguez Ángeles, Fernando Rodríguez de la Garza, Pedro F. Rodríguez Espinosa, Oliverio Santiago Rodríguez Fernández, Roberto Rodríguez Gómez, Luis Felipe Rodríguez Jorge, Ariel Rodríguez Kuri, Roberto Rodríguez, Yosu Rodríguez, Leopoldo Rodríguez-Sánchez, José Roldán Xopa, Julio Cesar Rolón, David Romero, Fermín Romero, Miguel Romero, Andrew Roth Seneff, Raúl Rueda, Enrique Ruelas, Lena Ruiz, Rosaura Ruíz, Beatriz Rumbos, Emilio Sacristán Rock, Gerardo Salazar Chávez, Mario César Salinas, Armando Salinas Rodríguez, Antonio Sánchez, Federico

Sánchez, Víctor Sánchez-Cordero, Oscar Sánchez Escandón, Aarón Sánchez Juárez, José Luis Sánchez Llamazares, Javier Sánchez Mondragón, Carmen Sánchez Mora, Francisco Sánchez-Sesma, Juan José Sánchez Sosa, Jorge Santamaría, Víctor Santibáñez Dávila, Saúl Santillán, Carlos Santos-Burgoa, Edgar Santoyo Gutiérrez, José Sarukhán, Jaime Sempere Campello, John Scott, Silvia Schmelkes, Rita Schwentesius, José María Serna de la Garza, Arturo Serrano, Larry Smarr, Xavier Soberón, Isidro Soloaga, Fabiola Sosa, Plinio Sosa, Julio Sotelo, Luis A. Soto González, Horacio Soto, Daniela Spenser, Christopher Stephens, José Emilio Suárez, Enrique Sucar, Vinicio Suro, Julia Tagüeña, Ricardo Tapia Ibarguengoytia, José Antonio Toledo, Fernando Toro, Miguel Torres, Manuel Torres Labansat, Luis Gerardo Trápaga Martínez, Fernando Tudela, Rodolfo Tuirán, Rosa Elena Ulloa, Jaime Urrutia, Francisco Valdés Ugalde, Luis Valtierra González, Oscar Valle Molina, Luis A. Vargas Guadarrama, Rafael Vázquez-Duhalt, Gerardo Vázquez Nin, Roberto Vázquez Meza, Antonio Vega Corona, Ambrosio Velasco, Jorge Velasco Hernández, Enrique F. Velázquez Contreras, Javier Velázquez Moctezuma, Salvador Venegas-Andraca, Basilio Verduzco, Jean-Philippe Vielle-Calzada, Luis Villa Vargas, Juan Villalvazo Naranjo, Jesús Villar Rubio, Luis Manuel Villaseñor, Guillermo Villalobos Zapata, Sergio Viñals, Ricardo Viramontes Brown, Cisco Werner, Trevor Williams, Veronika Wirtz, Rebeca Wong, Luis Zambrano, Guillermo Zárate de Lara, Gisela Zaremberg, Jorge Zavala Hidalgo, Luis Zavala Sansón, Juan Fidel Zorrilla y Margarita Zorrilla.

INSTITUCIONES DE ADSCRIPCIÓN DE LOS PARTICIPANTES

Academia de Ingeniería de México, A. C.
Academia Mexicana de Ciencias, A. C.
Academia Nacional de Medicina
Agencia Espacial Mexicana
Asociación Mexicana de Derecho a la Información, A. C.
Banco de México
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Cámara Minera de México
Cámara Nacional de la Industria Electrónica de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información
Centro de Cambio Global y la Sustentabilidad en el Sureste
Centro de Cooperación Regional para la Educación de Adultos en América Latina y El Caribe
Centro de Educación Aeroespacial de México en Jalisco
Centro de Estudios Universitarios
Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial
Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C.
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C.
Centro de Investigación en Geografía y Geomática *Ing. Jorge L. Tamayo, A.C.*
Centro de Investigación en Matemáticas A. C.
Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S. C.
Centro de Investigación en Química Aplicada

Centro de Investigación en Sistemas de Salud
Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados
Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de Peñoles
Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica
Centro de Investigación y Docencia Económicas, A. C.
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C.
Centro de Investigaciones en Óptica
Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas
Centro Médico ABC
Centro Regional de Enseñanza de Ciencia y Tecnología del Espacio para América Latina y el Caribe
Colegio de Ingenieros Mecánicos y Electricistas, A. C.
Comisión Federal de Electricidad
Comisión Nacional contra las Adicciones
Comisión Nacional del Agua
Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
Comisión Reguladora de Energía
Consejo Consultivo de Ciencias
Consejo Mexicano de Investigación Educativa, A. C.
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
Consejo Puebla de Lectura A. C.
Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España
Coordinación General Institutos Nacionales de Salud
Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet, A. C.
El Colegio de la Frontera Norte
El Colegio de la Frontera Sur
El Colegio de México, A. C.
El Colegio de Michoacán, A. C.

El Colegio de San Luis, A. C.
El Colegio Nacional
El Fondo de Información y Documentación para la Industria
El Instituto de Ecología, A. C.
Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales
Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A. C.
Grupo Financiero Banorte
Grupo México
Guadalupe de Guaymas, S.P.R. de R. L.
Hacia una Cultura Democrática, A. C.
Hospital General de México
Hospital Psiquiátrico Infantil *Juan N. Navarro*
Industrias Bre, S. de R. L. de C. V.
Instituto de Investigaciones *Dr. José María Luis Mora*
Instituto de Investigaciones Eléctricas
Instituto Estatal Electoral de Baja California
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Instituto Mexicano del Petróleo
Instituto Nacional de Antropología e Historia
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica
Instituto Nacional de Cancerología
Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición *Salvador Zubirán*
Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
Instituto Nacional de Geriátrica
Instituto Nacional de Medicina Genómica
Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía
Instituto Nacional de Psiquiatría *Ramón de la Fuente*
Instituto Nacional de Salud Pública
Instituto Politécnico Nacional
Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C.

Instituto Tecnológico Autónomo de México
Instituto Tecnológico de Culiacán
Instituto Tecnológico de la Laguna
Instituto Tecnológico de Sonora
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
International Association of Universities
Internet Society
Nuevas Alternativas Naturales Thermafate S. A. de C. V.
Organización Panamericana de la Salud
Petróleos Mexicanos
Secretaría de Comunicaciones y Transportes
Secretaría de Educación Pública
Secretaría de Energía
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Secretaría de Relaciones Exteriores
Secretaría de Salud
Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal
Sociedad de Beneficencia Española
Sociedad Mexicana para la Divulgación de la Ciencia y la Técnica, A.C.
Sociedad de Química de México
Southwest Fisheries Science Center
Stanford University
Sulfagenix, Inc.
Suprema Corte de Justicia de la Nación
The University of Arizona
The University of California, San Diego
The University of Texas, Medical Branch at Galveston
Universidad Autónoma de Aguascalientes
Universidad Autónoma de Baja California
Universidad Autónoma de Campeche

Universidad Autónoma de Chiapas
Universidad Autónoma de Chihuahua
Universidad Autónoma de Guadalajara
Universidad Autónoma de la Ciudad de México
Universidad Autónoma de Nuevo León
Universidad Autónoma de Querétaro
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Universidad Autónoma de Sinaloa
Universidad Autónoma de Tabasco
Universidad Autónoma de Tlaxcala
Universidad Autónoma de Yucatán
Universidad Autónoma de Zacatecas
Universidad Autónoma del Carmen
Universidad Autónoma del Estado de México
Universidad Autónoma Metropolitana
Universidad de Guadalajara
Universidad de Guanajuato
Universidad de Sonora
Universidad Iberoamericana
Universidad Intercultural del Estado de Chiapas
Universidad La Salle
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Universidad Nacional Autónoma de México
Universidad Pedagógica Nacional
Universidad Veracruzana
University of Colorado
University of Maryland

Ingeniería

de la colección HACIA DÓNDE VA LA CIENCIA EN MÉXICO
fue impreso con el apoyo del Conacyt
en septiembre de 2014 en los talleres
de Grupo Colach Empresarial, S.A. de C.V.
Cerrada de Júbilo 2, colonia Segunda del Periodista
Benito Juárez, México, D.F
El tiraje consta de 3500 ejemplares.
En su composición se utilizaron tipos de la familias
Myriad y Warnock y se utilizó papel couché de 135 grs.
Diseño editorial: Asesoría Gráfica
Cuidó esta edición:
Ana del Río Guzmán.

