

La industria química: perspectiva y tecnología

M. A. Alvaro Pedroza Zapata *
Email: apedroza@udgserv.cencar.udg.mx
Dr. Juan Villalvazo Naranjo **

Resumen

Una comparación de las condiciones y necesidades de la tecnología en la industria química para los siguientes veinte años como se ha visto por los accionistas en Europa, Estados Unidos y Japón quienes en conjunto dirigen el 76% del comercio.

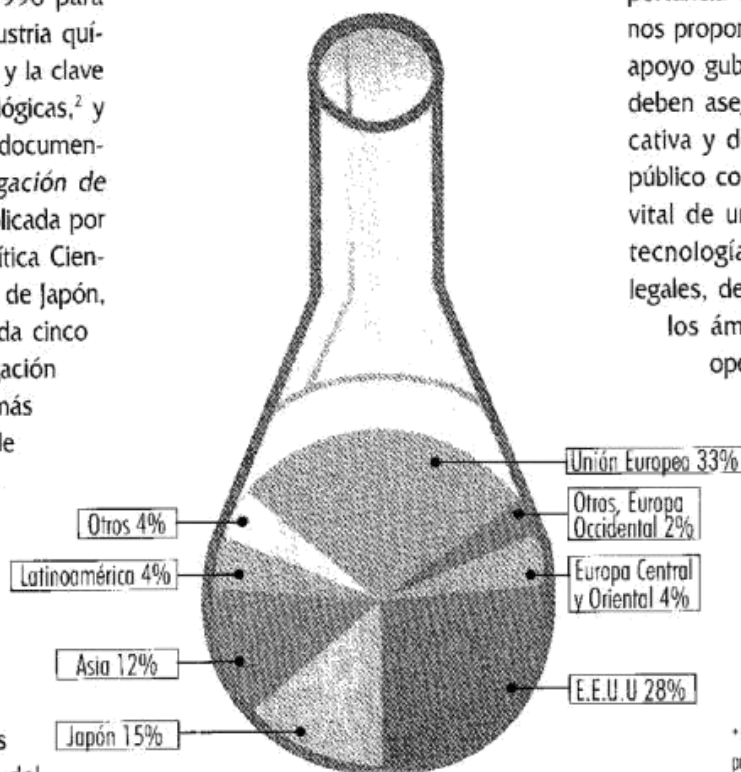
Abstract

A comparison of the technology issues and needs of the Chemical Industry for the next 20 years as it is looked at by stakeholders in Europe and the United States and Japan who, in conjunction, manages 76% of the commerce.

En esta sección se comparan las características tecnológicas y necesidades identificadas en dos documentos: *Química-Europa y el futuro, las Ciencias y la Tecnología para mejorar la calidad de vida en Europa*¹ y *Visión Tecnológica 2020: La Industria Química de los Estados Unidos*, publicado en Diciembre de 1996 para referirse al futuro de la industria química de los Estados Unidos y la clave para las necesidades tecnológicas,² y hacemos referencia a otros documentos como la *Sexta Investigación de Prospectiva Tecnológica* publicada por el Instituto Nacional de Política Científica y Tecnológica (NISTEP) de Japón, quien ha llevado a cabo cada cinco años, desde 1971, investigación prospectiva tecnológica. La más reciente de ellas corresponde a la sexta y tiene un alcance al año 2025.³ La importancia de estas regiones geográficas en la facturación química se pone en manifiesto en la figura 1.

El propósito de *Química-Europa y el futuro* es para influenciar el enfoque del

Figura 1
El Sector químico en el mundo (II)
Distribución geográfica de la facturación -1997



5º Programa Estructural de la Unión Europea (y esfuerzos similares subsecuentes). El programa establece una amplia agenda Europea a la vez que se refiere a la colaboración de los grupos de investigación universitaria e industrial así como el desarrollo técnico para el logro de sus objetivos con una importancia estratégica social. También nos proporciona un claro mensaje del apoyo gubernamental: los gobiernos deben asegurar una firme base educativa y de investigación del sector público como si esta fuese la sangre vital de una industria basada en la tecnología; así como los aspectos legales, de reglamentación, fiscales y los ámbitos sociales en los que operan las industrias deben ser apoyados e impulsados a buscar innovaciones.

El reporte Europeo nos proporciona un vistazo del impacto de la

* Candidato al doctorado en Ciencias Administrativas del Instituto Politécnico Nacional y profesor investigador del Departamento de Mercadotecnia y Negocios Internacionales del CUCEA.
** Jefe del Departamento de Ingeniería y proyectos del CUCEI

investigación sobre la calidad de vida. Nos proporciona un claro mensaje de cómo la investigación en la química y la ingeniería química acopladas con otras disciplinas es apropiada para llevarnos a inventos significativamente importantes a corto y largo plazo en aquellas áreas como la salud y la agricultura, la creación de nuevos materiales, consumo de energía y protección ambiental. El reporte subraya la integración a la vida diaria de la química y la industria química y examina cómo el adiestramiento, la generación de conocimiento y las ventajas en la construcción del mismo en los países europeos pueden ayudar a mantener el liderazgo del sector químico.

También establece que la percepción de la gente del papel de la química y la ingeniería química pueden ampliarse por medio de la educación.

En 1994, los líderes empresariales de la industria química de EU llevaron a cabo una iniciativa para estudiar los factores que afectan la competitividad de la industria en un vertiginoso cambio ambiental global y el desarrollo de una visión para su futuro. Este esfuerzo se debió a una petición de asesoría proveniente de la Casa Blanca, de la Oficina de Política para la Ciencia y la Tecnología, sobre cómo el gobierno de los EU podría asignar mejor los recursos en la investigación y desarrollo para apoyar y promover la base de la fabricación de la economía doméstica. Otras agencias gubernamentales tales como el Departamento de Energía y el Departamento de Comercio impulsaron y apoyaron este esfuerzo.

El resultado fue *Visión Tecnológica 2020: La Industria Química de los Estados Unidos*, un reporte preparado por el Grupo de Apoyo para la Competitividad y la Manufactura y copatrocinado por la Sociedad Química Americana (ACS), el Instituto Ame-

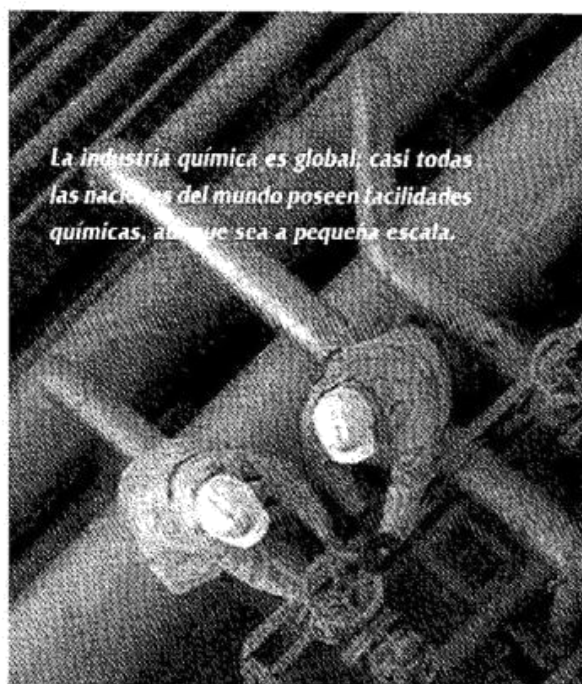
ricano de Ingenieros Químicos (AI-ChE), la Asociación de Fabricantes Químicos (CMA), el Consejo para la Investigación Química (CCR) y la Asociación de Fabricantes Químicos Orgánicos y Sintéticos (SOC-MA). Grupos de trabajo y más de 200 personas involucradas en la nueva ciencia química y la ingeniería tecnológica, la fabricación y operaciones, sistemas de información, administración de cadenas de distribución, sustentabilidad y sociedades, examinaron los retos clave y los factores de éxito relevante para la industria ante su entrada al siglo venidero. Los participantes concluyeron que las ventajas del crecimiento y la competitividad de la industria depende de los esfuerzos, tanto individuales como de grupo de la industria, así como de los gobiernos y los grupos universitarios para mejorar la empresa de investigación y desarrollo de la nación.

Aunque el reporte nipón no es específico para la industria química sin embargo contiene elementos que tienen relación con esta ya que cubre 14 campos de estudio siendo los más relevantes por orden de importancia: Medio Ambiente, Informática, Ciencia de la Vida, Recursos y Energía, además de otros.

El objetivo de este análisis comparativo es proveer puntos de referencia base para la formulación de estrategias en las empresas del sector privado y contribuir a la formulación de las políticas gubernamentales y universitarias para dar soporte a la industria química.

Las fuerzas de conducción

La industria química es global; casi todas las naciones del mundo poseen



La industria química es global; casi todas las naciones del mundo poseen facilidades químicas, aunque sea a pequeña escala.

facilidades químicas, aunque sea a pequeña escala. Estados Unidos es el país productor de químicos más grande, pero no el más grande exportador. La Unión Europea, si se incluye su comercio interno, es el más importante comercializador, por lo que no es de sorprender que las fuerzas que controlan el clima comercial, su impacto potencial en Europa y los Estados Unidos y las observaciones resultantes sean similares en los dos reportes.

La industria química de la Unión Europea y la de los Estados Unidos comparten las siguientes características: una base significativa de fabricación; empleo a un gran número de personas: más de 1 millón en los Estados Unidos y 1.65 millones en la Unión Europea; una industria diversa, que produce más de 70,000 productos; Europa tiene más de 30,000 compañías, 98% de las cuales emplean a menos de 500 personas; los Estados Unidos tienen 7400 compañías químicas, 90% de las cuales emplean menos de 100 personas; una importante infraestructura educativa y de investigación para la industria; y una participación gubernamental que puede tener impactos negativos o positivos sobre la industria.

Tabla 1. Encabezado de capítulos

Química: Europa y el futuro	Visión Tecnológica 2020
Procesos de la vida	El rol de la Tecnología
Maestría en la materia a nivel molecular	La nueva ciencia química e ingeniería tecnológica
Procesamiento y energía	Gestión de la cadena proveedora
Al cuidado de nuestro planeta	Sistemas de Información
Química y Sociedad	Manufactura y Operaciones

Diferencias en las aproximaciones

Aunque ambos reportes proporcionan perspectivas de la industria química del futuro, las aproximaciones para verificar que el futuro difiere significativamente (ver tabla 1). El reporte Europeo enfatiza el rol de la química como una ciencia habilitada y esta escrita para integrar las perspectivas de los legisladores, la comunidad científica, y el público. Se anotan el valor económico y social creado por la química y la ingeniería química y su impacto sobre los bienes y servicios, así como otros sectores de la manufactura. En Europa se le da una especial atención a la infraestructura educativa y de investigación, así como al rol de la sociedad Europea.

Los elementos de *Visión Tecnológica 2020* también reconocen el valor social y económico creado por las empresas químicas, pero los principales centros de discusión se refieren a la I+D, la fabricación, y la infraestructura de distribución de la industria, reconociendo que la ventaja del crecimiento y la competitividad de su industria depende de los esfuerzos individuales y de grupo, el gobierno y las universidades para mejorar la I+D de la nación.

La energía, vista como gran promotora del crecimiento económico, se presenta prominentemente en el reporte europeo, como veremos más adelante en las discusiones sobre la

existencia de las reservas de energía y las fuentes futuras de energía. Aunque la producción de energía y su uso no son el enfoque principal de *Visión Tecnológica 2020*, el reporte establece que uno de sus principales objetivos para los próximos 25 años debe ser: mejorar la eficiencia en el uso de las materias primas, el reciclado de materiales y la generación de y uso de energía”.

Ambos estudios reconocen la necesidad de aproximaciones más integradas de varias disciplinas científicas en beneficio de las empresas químicas. *La Química-Europa y el Futuro* establecen que «la química y la ingeniería química, disciplinas claves *per se*, están asociadas con muchas otras ciencias»; y *Visión Tecnológica 2020* comenta sobre el papel de la química para “desarrollar nuevas técnicas sintéticas incorporando las disciplinas y las propuestas de la biología, la física y los métodos informáticos”.

Nuestra discusión está organizada de acuerdo a la cobertura en las secciones seleccionadas de *La Química-Europa y el Futuro*; También se muestra un resumen de las comparaciones clave en la tabla 2.

Procesos de vida

“Para entender la química de los procesos de vida, resulta esencial desembarañar las reacciones de la química básica”. El reporte europeo subraya el descubrimiento, la invención y la síntesis de nuevas combinaciones químicas farmacéuticas naturales y sintéticas así como el uso de potentes drogas mejoradas por medio de diseños cibernéticos y síntesis clínicas. Nuevos genomas funcionales y secuenciales están siendo explorados hoy en día para entender y manipular la confi-

guración genética de los organismos. La salud de las personas, el medio ambiente, los ecosistemas, y la agricultura se beneficiarán tremendamente por medio de la tecnología genética y la aplicación de la biotecnología.

En esta sección del reporte europeo, la modelación y simulaciones por medio de computadoras están reconocidos como herramientas invaluable en el estudio de las características estructurales, termodinámicas y dinámicas de los sistemas bioquímicos complejos. En el campo de la química biomimética, la simulación experimental o la modelación de los sistemas biológicos imita los sistemas complejos encontrados en la naturaleza. La expectativa consiste en que este tipo de estudios “nos llevarán a la invención de procesos químicos completamente nuevos, así como de nuevos materiales útiles en la industria y la sociedad”. Esta expectativa también se reconoce en *Visión Tecnológica 2020*.

El advenimiento de la química combinatoria y las técnicas de selección están reconocidas universalmente para el abatimiento del tiempo necesario de trabajo experimental que nos conduzca al diseño de nuevas drogas. Los esfuerzos subsecuentes ya están en progreso para definir más específicamente las necesidades importantes en las mediciones químicas y la química computarizada, y para identificar la medición complementaria y las técnicas computarizadas para habilitar estos avances de las técnicas de selección. El Consejo para la Investigación Química (CCR) está encabezando el trabajo para definir estas importantes necesidades así como las áreas del enfoque de la tecnología que están consideradas en términos generales a ser parte de la nueva ciencia química y la tecnología de la ingeniería.

La biotecnología es un enfoque

común de ambos reportes; las diferencias anteriormente señaladas en cada uno de los documentos son evidentes en estos entrecorillados. "Las técnicas usadas en la bio-tecnología moderna tendrán efectos crecientes sobre muchos sectores de la industria, incluyendo el farmacéutico, las tecnologías ambientales, las plantas de crianza, el procesamiento de alimentos, así como los textiles, la pulpa y el papel y las industrias de pieles", dice *La Química-Europa y la Tecnología del Futuro*. *Visión Tecnológica 2020* refiere diferentes propuestas: "Dadas las amplias posibilidades de investigación, el establecimiento de prioridades en la biotecnología pueden ser mucho más importantes. La mejora del funcionamiento de biocatalizadores y del

procesamiento bioquímico son dos áreas con grandes promesas para la industria química".

Asunto de dominio molecular

Esta sección del estudio europeo se enfoca en la síntesis, la cual se denomina "el corazón de la química". La tema incluye la catálisis, la química supramolecular, los materiales estructurales, las superficies y la tecnología de superficie, los materiales funcionales, biónicos y biomiméticos, así como los materiales inteligentes. Por ejemplo, el reconocimiento de la importancia de los catalizadores selectivos y eficientes como una herramienta en la síntesis química, el estudio sugiere iniciativas de investigación

que se enfoquen en la combinación de alta selectividad y catálisis homogénea con el robustecimiento de sistemas heterogéneos. Esto podría permitir un mejor control de la forma y el tamaño de los productos formados en la transformación catalítica.

Temas análogos se discuten con menos detalle en *Visión Tecnológica 2020* bajo los subtítulos "Síntesis química" y "Tecnología de los materiales". Sin embargo en un taller de catálisis convocado por ACS, CCR, y DOE como parte del mapa de caminos de *Visión Tecnológica 2020*, se identificaron cuatro necesidades importantes para ayudar a explotar las interfases de la síntesis química con las ciencias de los materiales:⁴

—La posibilidad de diseñar cata-

Tabla 2

Comparando las visiones		
	Química - Europa y el Futuro	Visión Tecnológica 2020
Organizaciones patrocinadoras	CEFIC, CERCS, COST, ECCO/FECS, EFCE	ACS, AIChE, CMA, CCR, SOCOMA
Características compartidas en la Industria Química	Base manufacturera significativa Empleo a más de un millón de personas Industria diversificada.	Infraestructura educacional y de investigación importante para la industria. El rol del Gobierno puede tener impacto positivo o negativo en la industria.
Fuerzas directrices en el reporte	Disminución de la atraktividad de la Industria con relocalización de los negocios a otras regiones	Aumento de la globalización de los mercados Demanda social por una mejor actuación ambiental Demanda de los mercados financieros por una mayor rentabilidad y productividad del capital. Mayores expectativas de los consumidores Cambio en los requerimientos del mercado laboral
Principal enfoque del reporte	Valor económico y social creado por la química y la ingeniería química y su impacto en otros bienes y servicios en múltiples sectores de la economía.	Reconocimiento por parte de IyD, manufactura, y cadena proveedora de que el crecimiento y la ventaja competitiva de la industria depende de los esfuerzos individuales y de colaboración entre la industria, gobierno y academia para mejorar la empresa nacional de IyD.
Necesidades y metas	Excelentes facilidades científicas y educacionales. Soporte del fondo público, fuerte y continuo, para investigación exploratoria en dominio estratégico y para el desarrollo tecnológico en las áreas de mayor necesidad social. Aceptación del público de las metas científicas y deseo de aceptar nuevas tecnologías y productos. Requerimientos legales con bases realistas y científicas.	Mejoramiento de las operaciones, con un enfoque en la mejor administración de la cadena proveedora. Mejora de la eficiencia en el uso de materias primas y la reutilización de materiales reciclados, y la generación y uso de energía. Continuar manteniendo un liderazgo en el balance de los aspectos económicos y ambientales. Compromiso agresivo por invertir a largo plazo en IyD Balanceo de la inversión tecnológica mediante el apalancamiento de las capacidades gubernamentales, académicas, y de la industria química con esfuerzos cooperativos en IyD.

lizadores a través de una combinación de experimentos, la comprensión de la mecánica de las reacciones y el perfeccionamiento de la química computarizada;

—El desarrollo de técnicas para la síntesis de alto rendimiento y la comprobación de catalizadores;

—Desarrollo de mejores técnicas para la caracterización de catalizadores; y

—Desarrollo de métodos para la síntesis de catalizadores con arquitectura de sitio específico.

En el reporte europeo se dan recomendaciones específicas encontradas en áreas tales como catálisis ácido-base en estado sólido, catálisis de polimerización, técnicas de caracterización de catalizadores, entre otras.

La sección que se refiere a la Tecnología de los Materiales de *Visión Tecnológica 2020* se enfoca en la predicción de las propiedades, la tecnología de la síntesis para el manejo de las estructuras de los materiales, mejoras de funcionamiento en los materiales, uso de aditivos en los sistemas de los materiales, y desmontaje/reciclado/reuso. Varias necesidades de tecnología específica relacionadas directamente con aquellas que se identificaron en el reporte europeo: materiales inteligentes, biomiméticos, autoensamble molecular, y así sucesivamente. Ambos reportes reconocen la importancia y los retos del reciclado de materiales.

Procesamiento y energía

Para Europa, se sugiere que el aumento del consumo de energía estará sustentado por una combinación de los recursos primarios: petróleo, otros recursos fósiles (gas natural y carbón), la energía nuclear y los recursos naturales renovables (el viento, el agua, la transformación de la radiación solar y

las biomasas). El desarrollo de nuevas tecnologías de energía se darán en Europa ya sea por un mayor cambio de los recursos de energía primaria que afectará significativamente la tecnología existente o bien por la generación de energía debido a los nuevos desarrollos científicos, o bien por nuevas materias primas económica y ambientalmente más atractivas (o alguna combinación de estos efectos). Algunas sugerencias muy específicas para la química, la ingeniería y las ciencias incluyen nuevos materiales para células solares con características de absorbencia óptima, el uso seguido de células de energía con baterías de carga baja para la transportación a distancias cortas, y sobrellevar el problema de los grandes pesos requeridos que lleven hidrógeno como un combustible.

El reporte europeo se enfoca en la ingeniería de procesos químicos, los procesos analíticos y la integración e intensificación de los procesos como los elementos clave de las plantas de procesos químicos. La combinación de la comprensión del proceso, los métodos analíticos mejorados, computadoras potentes y baratas, y *software* avanzado transformarán nuestro entorno con procesos operativos de consecuentes beneficios técnicos y económicos. Se detectan muchas áreas de traslape con el reporte de los EU (ver tabla 3), y la tabla de ejemplos de las analogías específicas con las necesidades de capacidad de producción identificadas en *Visión Tecnológica 2020* y los talleres subsecuentes.^{5,6}

No obstante la discusión de las operaciones y fabricación en *Visión Tecnológica 2020* le da mayor énfasis a la relación cliente-fabricante-proveedor en la identificación de las necesidades futuras de la industria química.

Al cuidado de nuestro planeta

Es probable que haya pequeños desacuerdos con lo declarado en *Química-Europa y el Futuro* cuando dice "para la industria química la idea fundamental en el corazón del proceso sustentable de fabricación consiste en el uso eficiente y racional de todos los recursos involucrados en esos procesos". En la discusión sobre desarrollo y manufactura, el reporte sugiere que las situaciones ambientales que esta enfrentando la población de Europa requiere de cuatro propuestas:

—El análisis de sustancias hostiles y benignas del medio ambiente y el monitoreo de sus efectos;

—Reparación del daño al medio ambiente;

—Prevención y reducción de las cargas ambientales (ejem.: desarrollo de tecnologías limpias y benignas que tengan una fuerte influencia en términos medios);

—Incremento de la eficiencia en los procesos consumidores de recursos, con un énfasis sobre el curso y distribución de la energía natural futura.

En la sección sobre monitoreo del medio ambiente, se puntualizaron dos aspectos como son el tener "requisitos para una investigación poderosa": El constante monitoreo y análisis preciso de contaminantes, así como un análisis cuidadoso y la comprensión de los efectos y el destino final de los componentes del medio ambiente. Aunque el plan de trabajo de *Visión Tecnológica 2020* sobre la medición química hace énfasis en las necesidades de la tecnología de los procesos de manufactura, muchos de los métodos analíticos identificados se aplicarán también en el monitoreo del medio ambiente. Los esfuerzos del plan de acción de *Visión Tecnológica 2020* sobre la química computarizada

Tabla 3

Procesos Químicos

Química— Europa y el Futuro	Visión Tecnológica 2020
Ingeniería de procesos químicos	
El concepto de auto-regulación automática de procesos en las plantas químicas no está lejos de ser una realidad. Los procesos de manufactura serán operados en condiciones de control completo. Se practicará el control automático de procesos desde el arranque hasta el cierre de la planta.	Los procesos de manufactura serán operados en condiciones de control completo. Se practicará el control automático de procesos desde el arranque hasta el cierre de la planta.
Análisis	
Análisis de las condiciones reales de proceso en el lugar de origen en tiempo real a través de la incorporación de sensores.	Técnicas de análisis robustas, en tiempo real, confiables, y en el ambiente.
Nuevas técnicas de separación	Arreglos de sensores que mejoran las técnicas de separación, análisis de trazas, miniaturización.
Intensificación e integración de procesos	
El acoplamiento de reacciones químicas con separación o transferencia de calor lleva al concepto de reactores multifuncionales con mayor rendimiento.	Integración de reactores y sistemas de separación.
Cambio en la manufactura de ciertos químicos de lugares centralizados a pequeños centros de manufactura en el lugar de consumo.	Mejora en la flexibilidad de los procesos de manufactura. Equipos de proceso que pueden fácilmente ser reconfigurados para fabricar otros productos.
La cantidad de agua, aire y solventes utilizados en los procesos químicos será reducida al mínimo.	La mejora en los balances de materiales requiere de nueva tecnología, y de sistemas para llevar a cabo reacciones en medios alternativos.

enfatan la importancia de la predicción final del medio ambiente e identifica las necesidades específicas de computación.

Aunque la sección en el reporte europeo sobre una química más limpia en los procesos industriales se refiere principalmente al ejemplo de CO₂ supercrítico como una alternativa de reacción media, la premisa es hacer a gran escala "los químicos que necesitamos sin hacer subproductos no deseados y sin dañar el medio ambiente o materiales totalmente irremplazables". Referencias similares aparecen directamente o están implícitas en las secciones de *Visión Tecnológica 2020* sobre las nuevas tecnologías de ingeniería y la nueva ciencia química.

Infraestructura para la investigación

Un estudio reciente⁷ muestra el porcentaje de I+D+D/Ventas en la industria química de los Estados Unidos entre 1984 y 1994. La industria química farmacéutica pasó de 10% a 11.5%, la

producción de químicos industriales del 3% al 3.6% y la de otros químicos de 1.4 a 2% respectivamente.

La infraestructura educativa y de investigación se enfatizan y se reconocen como factores de suma importancia para ayudar a salvaguardar la competitividad de la industria química europea: "las universidades y los institutos de investigación proporcionan ideas y científicos capacitados en los que la industria puede confiar para el éxito comercial a través de la innovación". Las universidades juegan dos papeles de vital importancia: capacitación de científicos y vinculación con la industria en lo que se refiere a la investigación en conjunto. Tanto en Europa como en los Estados Unidos, se expresa el interés de proporcionar un educación apropiada desde la primaria, que despierte conciencia y curiosidad.

La dependencia de la industria química europea del desarrollo de programas de tecnología e investigación en conjunto está reconocida como un ingrediente necesario "para salvaguar-

dar su posición competitiva y para conservar el flujo de productos innovadores y de procesos más eficientes en el uso de recursos y energía que genere menos desperdicio y que sean más nobles con el medio ambiente". Los programas de Tecnologías Sustentables (SUS-TECH) manejados por el Departamento de Ciencia, Tecnología e Innovación del CEFIC, se citan como un ejemplo de un modelo apropiado de colaboración. El programa SUSTECH está formado por redes de investigadores de la industria, universidades, organizaciones gubernamentales de investigación y organizaciones profesionales y de comercio más allá de las fronteras nacionales.

Uno de los ocho principios de *Visión Tecnológica 2020* marca un paralelo referente a este tema de colaboración en conjunto: "La industria química de los EU trabaja en conjunto con las universidades y el gobierno creando laboratorios virtuales para originar el desarrollo de tecnologías innovadoras". Este principio es la base del Memorandum de Entendimiento de la In-

industria con el Departamento de Energía de los EU mencionado anteriormente.

Conclusiones

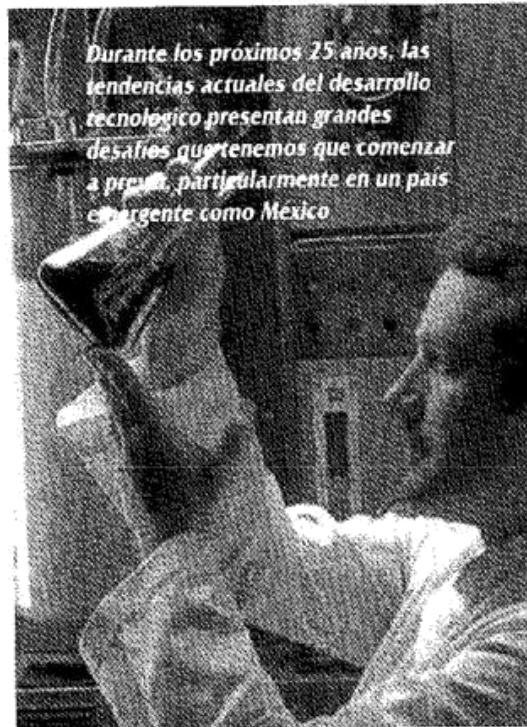
La Química-Europa y el Futuro enfatiza en su conclusión que la química como una ciencia completa en el "límite molecular", afecta a plantas, animales y humanos y al mundo físico a nuestro alrededor. *Visión Tecnológica 2020* dice: "Un mundo sin la industria química carecería de la medicina moderna, los transportes y las comunicaciones y los productos de consumo".

Uno de los objetivos clave de ambos reportes y los esfuerzos subsecuentes de las organismos patrocinadores es promover una agenda de investigación y desarrollo apropiados así como inversiones públicas y privadas. Los esfuerzos subsecuentes para definir con mayor precisión las inversiones en EU y Europa, sobre la base de estos dos documentos producirá mas similitudes que las identificadas en este documento. La habilidad para sostener los esfuerzos señalados en estos estudios serán la clave para su impacto sobre la competitividad de la industria química. La naturaleza de la industria química y su enfoque mundial sugiere que una discusión compartida de cómo la colaboración en conjunto puede influir el camino hacia una visión del futuro puede beneficiar mutuamente tanto a los EU como a Europa.

Los retos del desarrollo tecnológico y sus implicaciones para México:

Durante los próximos 25 años, las tendencias actuales del desarrollo tecnológico presentan grandes desafíos que tenemos que comenzar a prever, particularmente en un país emergente

como México, si deseamos lograr un desarrollo sustentable, con equidad social. Existen cuatro grandes familias de tecnologías relacionadas con la industria química que, individualmente y en conjunto, tendrán efectos drásticos en las sociedades nacionales y en la economía global, comparables a la luz eléctrica y al motor de gasolina:



Durante los próximos 25 años, las tendencias actuales del desarrollo tecnológico presentan grandes desafíos que tenemos que comenzar a prever, particularmente en un país emergente como México

1. La tecnología informática
2. La tecnología genética
3. La tecnología de materiales
4. La tecnología energética
5. La tecnología ambiental

Las tecnologías aplicables al medio ambiente constituyen una quinta área, que, aunque no puede decirse que constituyan una familia tecnológica como las anteriores, se comportarán como tal, ya que representarán un factor cada vez más clave en las decisiones tecnológicas y económicas de la próxima generación. La posición de México ante las nuevas tecnologías es analizada en varios documentos^{8, 9, 10} donde se hace un análisis de las po-

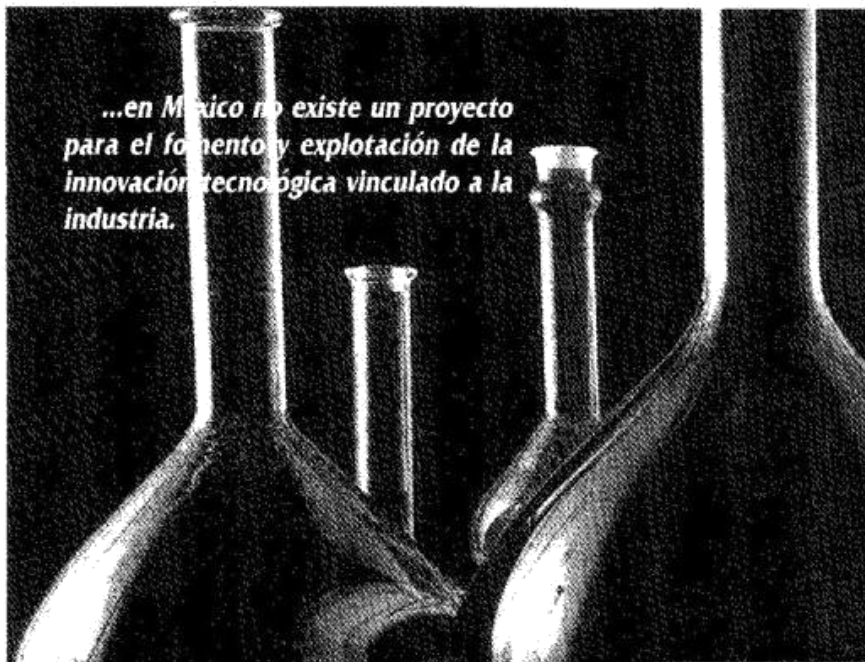
sibles estrategias y políticas que México debería seguir para insertarse de una manera ventajosa en estos procesos de cambio, buscando disminuir su actual estado de dependencia como espectador pasivo de los cambios que están sucediendo y que afectan a la organización económica, social y laboral del mundo, amén de los nuevos procesos científicos y tecnológicos.

Obviamente no podemos esperar las mismas implicaciones para todos los países. Los mercados del primer mundo absorberán, fundamentalmente tecnologías más avanzadas. Los mercados de los países de menor desarrollo representarán un volumen más modesto pero creciente para productos de consumo de tecnologías modernas.

Los países emergentes de desarrollo medio, como México, estarán en una situación mixta, debiendo incorporar al mismo tiempo los últimos adelantos tecnológicos en algunos sectores y regiones, pero teniendo que elevar sus niveles de productividad en los sectores y regiones

más atrasados a través de tecnologías, que sin ser las más modernas, hagan posible agregar crecientemente valor a sus actividades tradicionales. Adicionalmente, constituirán los mercados en desarrollo más voluminosos y atractivos.

Seguramente, es de esperarse que algunos problemas importantes afectarán a toda la población mundial, derivados de la urbanización y de necesidades sociales básicas de alimentación, salud, educación, vivienda, transporte y hasta de recreación. En estas áreas, las tecnologías avanzadas encontrarán no solamente aplicación bastante generalizada, sino segura-



...en México no existe un proyecto para el fomento y explotación de la innovación tecnológica vinculado a la industria.

mente sus mejores mercados en los países en desarrollo, que representarán 7 millones de habitantes, de los 8.3 millones que se estima tendrá el planeta en el año 2025. Por ejemplo, no hay duda que las mayores metrópolis del mundo estarán en países en desarrollo. Como tales, plantearán retos gigantescos.

El estudio de prospectiva de CON-CAMIN.¹¹ reconoce que una de las debilidades de México se ubica en la generación de innovaciones así como en la IyD: "en México no existe un proyecto para el fomento y explotación de la innovación tecnológica vinculado a la industria". En este sentido son muchas las acciones que se deben llevar a cabo. Debemos reconocer que

la iniciativa privada es la principal consumidora de los servicios de tecnología por lo que se debe promover que las instituciones orientadas al desarrollo técnico se mantengan vinculadas al sector industrial a fin de hacer más expedita la introducción de nuevas tecnologías.

Es grande el reto para lograr el "milagro mexicano", para muestra de todo lo que se debe lograr avanzar hacia el año 2022, basten sólo algunos botones:¹²

—México debe destinar a actividades científicas y tecnológicas el 3% del PIB, nueve veces más que el exiguo 0.33% de 1996

—Tener 120 investigadores y técnicos por cada cien mil habitantes, comparados con los 8 a 10 que teníamos en 1995

—Más de 650 mil personas deberán estar dedicadas a las tareas científicas y tecnológicas, treinta veces más que las actuales. Cerca de medio millón deberán trabajar en centros de empresas privadas, y unos 160 mil en centros del sector público.

Bibliografía

1. ALLIANCE for Chemical Sciences and Technologies in Europe, (1996) *Chemistry – Europe*, Royal Society of Chemistry, London.
2. AMERICAN Chemical Society, et. al., (1996) *Technology Vision 2020: The U.S. Chemical Industry*, Washington, D.C.
3. NISTEP (1997), *THE SIXTH TECHNOLOGY FORECAST SURVEY: Future Technology in Japan Toward The Year 2025*, Report N° 52, Science and Technology Agency, Japan.
4. JACKSON, N. B., (1997), *Catalyst*

Technology Roadmap Report. Sandia National Laboratories; Albuquerque, NM; Report N° SAND 97-1424.

5. U.S. Department of Energy, (1998) *Vision 2020: 1998 Separations Road-map*, publicado por el Center for Waste Reduction Technologies del American Institute of Chemical Engineering.
6. U.S. Department of Energy, (1997) *Chemical Industry of the Future: Technology Roadmap for Computational Fluid Dynamics*
7. LENZ, A.J., Lafrance, J., (1996), *Meeting the challenge: U.S. industry faces the 21st century*, *The Chemical Industry*, U.S. Department of Commerce, Office of Technology Policy.

8. CORONA, L. (coordinador) (1991) *México ante las nuevas tecnologías*, CIIH, UNAM-Miguel Angel Porrúa Grupo Ed. México.

9. QUINTERO, R. (1985), *Prospectiva de la Biotecnología en México*, Fundación Javier Barros Sierra/CONACYT México.

10. CONCAMIN/ONUUDI, (1996), *Visión 2020, Estrategia Industrial para México*; México, D.F.

11. DE LA TIJERA, E., (1997), *El Futuro del Desarrollo Tecnológico: Una prospectiva a 25 años*, Expo-Tecnológica '97, México, D.F. Grupo TEXNE.