

En este periodo de transformación de los mercados mundiales, unas líneas de esperanza para la ingeniería química mexicana en algunas tecnologías emergentes, de parte del reconocido Ing. Leopoldo Rodríguez. Leopoldo concluye con una recomendación de modificación curricular para el ingeniero químico, algo muy adecuado para una revista de educación, como ésta.

La Ingeniería Química en la transición económica del mundo y de México

Leopoldo E. Rodríguez Sánchez

Resumen

En este artículo se plantea una recopilación de necesidades y tendencias que han venido reconfigurando el diseño de las industrias que han constituido por décadas la principal ocupación del ingeniero químico. Entre ellas, destaca la industria petroquímica, la cual ha dejado de jugar el rol tan predominante que tuvo durante siete a ocho décadas en el siglo XX. Por contraste, los requerimientos de la sociedad de satisfactores relacionados con las “ciencias de la vida” (alimentación, salud, ambiente), así como la demanda de materiales avanzados para resolver diversos requerimientos en otros rubros, se están constituyendo en una enorme fuente de oportunidades para esta profesión. Se pone de relieve la congruencia que existe entre el análisis de estas tendencias y las conclusiones de los trabajos de reflexión realizados por la comunidad académica y de investigación de los Estados Unidos de Norteamérica. Se propone que de tales oportunidades y la preparación que se logre desarrollar para su aprovechamiento constituyen una de las mejores noticias registradas en muchos años para el posicionamiento de la Ingeniería Química, profesión que con ese enfoque se percibe reubicándose en el corazón de la dinámica de cambio de la transición económica mundial. A través de la mención de algunos ejemplos materializados ya en México dentro de la nueva Visión para la Ingeniería Química se ilustra que es perfectamente posible que participemos en esa evolución. Estos ejemplos podrían empezar a constituir la biblioteca de casos ilustrativos útiles para el desarrollo de un posible nuevo enfoque curricular cuya implantación tendrá que ser un proyecto de largo plazo.

Introducción

El cambio económico mundial plantea múltiples requerimientos en relación con la producción y las formas de entrega de los satisfactores que las sociedades demandan, con las rupturas tecnológicas que genera y las discontinuidades que produce y, finalmente, con las modificaciones que todo lo anterior causa a su vez en las expectativas de la sociedad en relación con tales satisfactores.

Esta dinámica siempre ha existido pero, como todos estamos ya conscientes, la rapidez del cambio en la historia se ha venido gradualmente acelerando hasta alcanzar un

ritmo que hoy nos parece vertiginoso, y actualmente tenemos una clara conciencia de conceptos que antes no eran igualmente percibidos, como el alcance global de los cambios y el impacto en planos múltiples de las rupturas tecnológicas.

Durante el siglo XX, una de las fuentes fundamentales para proveer los requerimientos de satisfactores sociales fue la Ingeniería Química, disciplina cuyo nacimiento formal ocurrió entre 1915 y 1925 con la sistematización de las Operaciones Unitarias y cuyo desarrollo se ligó de manera indisoluble al de las llamadas industrias de proceso, entre las que cabe indicar las que son propiamente químicas, destacadamente la industria petroquímica, pero también industrias como la refinación de petróleo, el papel, el cemento, el vidrio y muchas otras más a cuyo nacimiento dio lugar o cuyos procesos productivos transformó en forma sustancial.

El surgimiento de las industrias de proceso, junto con la gran escala de la generación de energía eléctrica industrial y el bulbo (o tubo de vacío) fueron los motores que impulsaron la “Segunda Gran Revolución Industrial Mundial”.

El desarrollo de la Industria Petroquímica se acelera a partir de la década de 1940 por las necesidades surgidas en la Segunda Guerra Mundial por las restricciones de acceso a materias primas como el hule natural, la lana, la seda, el algodón y otras más. El éxito logrado en sustituir los materiales naturales tradicionales fortaleció la confianza en la capacidad de la industria petroquímica en producir toda una variedad de materiales “nuevos”, muy destacadamente los polímeros, y en especial los productos plásticos; usando una frase en boga durante hacia fines de la década de 1950, “el mundo que la naturaleza olvidó”. Los nuevos materiales permitieron realizar un grado de sustitución sin precedentes de metales, madera, papel, vidrio y muchos otros materiales y facilitaron el desarrollo de diversas industrias fabricantes de productos terminales.

La industria petroquímica empezó a jugar un papel crecientemente importante en la economía mundial, sobre todo en las economías de los países más desarrollados industrialmente, muy en especial en los Estados Unidos de Norteamérica, en donde los petroquímicos llegaron a superar el 90% en volumen de la producción de productos químicos orgánicos y se convirtió también en la principal industria exportadora de ese país. Este desarrollo y el optimismo que

produjo, fue paralelo al desarrollo de la profesión de ingeniería química; antes de esto la mayor proporción de productos químicos orgánicos procedía del carbón y sus métodos productivos eran desarrollados por químicos europeos.

Poco se conoce por comparación acerca de las contribuciones de la ingeniería química en otros campos; por ejemplo, la capacidad de producir penicilina en gran escala comercial que se dio también durante la Segunda Guerra Mundial cuando los profesionales de esta disciplina demostraron que la técnica de fermentación aeróbica sumergida era posible a través del control proporcionado por la ingeniería química a los complejos problemas de transferencia de calor y de masa que se presentaban. Sin embargo, este logro conjunto de la ingeniería química y la microbiología marca un importante precedente para la ingeniería bioquímica que hoy nos empieza a resultar más familiar.

Lo que es un hecho es que durante varias décadas las posiciones más atractivas y cotizadas de la Ingeniería Química se ofrecían en actividades de diseño, producción y comercialización relacionadas con la industria petroquímica. Daba la impresión de que fuera de esta industria, las oportunidades para la ingeniería química eran limitadas o poco atractivas.

No obstante, desde mediados de la década de 1960 ese ímpetu se redujo, primero como resultado de la rápida proliferación de competidores y la carrera de reducción de precios y márgenes que ello produjo, con el consecuente impacto de la reducción de los presupuestos de investigación y desarrollo. En esos años se registró el primer periodo de alta y baja en la rentabilidad de la industria que rápidamente se dio en llamar el “ciclo petroquímico”, con una duración promedio de unos siete años hasta llegar al “ciclo” que se inició en 1997-98 que ha sido sumamente irregular.

Otro factor que ha afectado dramáticamente la evolución de la industria petroquímica y por ende la de la ingeniería química ha sido la de los precios de energéticos. A principios de 1973 la baja de inversiones de los últimos años de la década de 1960 se combinó con el primer embargo petrolero y esa situación produjo muy fuertes impactos en los suministros de materias primas, además un fuerte aumento en el costo del petróleo y de la energía en general que, aunque después se aflojó, nunca regresó ya a los niveles anteriores. Estas alzas en energéticos se repitieron en varias ocasiones pero posiblemente la que más ha impactado a la industria petroquímica fue el alza liderada por la subida de los precios de gas natural en la región de Norteamérica desde niveles de 1.50 USD/millón de BTU hasta precios del orden de 12 USD/millón de BTU a principios de 2001; estos precios, aunque posteriormente se redujeron parcialmente, se han quedado en promedios del orden de 4 a 4.50 USD/millón de BTU. Si se tiene en cuenta que los bajos precios

históricos del gas fueron una causa esencial del desarrollo petroquímico y del liderazgo mundial de Norteamérica en esta industria, esta carestía ha sido causa de una súbita pérdida de competitividad de muchas producciones petroquímicas en la región.

Un aspecto que es muy interesante recalcar es que el desarrollo paralelo de la ingeniería química y el de las industrias de proceso es uno de los grandes ejemplos históricos de vinculación sinérgica entre industria y academia, esta última destacadamente liderada por el MIT al combinar su dedicación tanto a la educación como a la investigación. El lenguaje común originalmente creado mediante las operaciones unitarias fue un poderoso factor de apoyo a la difusión de las tecnologías generadas y al desarrollo de la profesión.

Tendencias relevantes hacia finales del siglo XX

Algunas de las tendencias más importantes que han marcado la transformación económica mundial y la de las industrias química y petroquímica en los últimos lustros del siglo XX han sido:

- El inicio de la Tercera Gran Revolución Industrial mundial mediante el desarrollo de los materiales semiconductores y los circuitos integrados que han impulsado la electrónica moderna partiendo de los “*wafers*” de sílice y de arseniuro de galio.
- El subsecuente desarrollo de la tecnología informática aprovechando la Ley de Moore que establece que el poder de procesamiento de los dispositivos electrónicos se duplica cada 18 meses, en buena medida gracias a la miniaturización de los “*wafers*”.
- El inicio del desarrollo de polímeros con estructura controlada mediante el empleo de catalizadores *single site* o reguladores para el manejo controlado de radicales libres.
- La pérdida de competitividad ya mencionada de los derivados petroquímicos del etano y por extensión del gas natural y sus líquidos como consecuencia de los aumentos de precios del gas; esta situación ha ocasionado cierres masivos de plantas de algunas ramas de la industria en Norteamérica, notablemente la de los fertilizantes nitrogenados, en especial amoniaco y urea.
- Algunas de las empresas químicas mayores y más antiguas se han transformado total o parcialmente en empresas de ciencias de la vida y segregan sus unidades puramente químicas en empresas diferentes y con énfasis reducido, especialmente en el gasto de investigación y desarrollo. Buenos ejemplos de ello han sido Monsanto, DuPont, Hoechst y otras más.
- Menor impacto de la actividad petroquímica y, en general de la de los químicos genéricos, sobre la ingeniería química.
- El ámbito laboral para la carrera de un ingeniero químico

se ha modificado drásticamente al desaparecer la posibilidad realista de una carrera “vitalicia” en una sola empresa y al ocurrir una sustancial diversificación de actividades para el ejercicio profesional.

El caso de México en la segunda mitad del siglo XX

La economía mexicana ha tenido que enfrentar esta evolución en su modalidad más crítica para la industria petroquímica, llevada a cabo en la región de Norteamérica.

Además, la petroquímica mexicana ha tenido que enfrentar diversas situaciones que derivan de la estructura estatal en las primeras etapas de transformación de la industria, tanto por su situación como monopolio designado en las actividades reservadas al Estado como por la que se origina por posiciones de productor único de facto por razones de estructura histórica; entre tales situaciones destacan:

- La falta de inversión de los eslabones más básicos de la industria.
- Las decisiones de precios, abasto y otras consideraciones comerciales basadas en costos de oportunidad internos de la industria estatal, que no se presentarían en una industria conformada por entidades privadas.
- La consecuente desintegración de cadenas productivas socavando la base de mercado para los eslabones sanos de la cadena.
- La carencia de políticas industriales que buscaran evitar o compensar tal desintegración.

La situación en el primer lustro del siglo XXI

Al iniciarse el siglo XXI se empiezan a producir grandes cambios y oportunidades para la ingeniería química asociados a nuevas necesidades o tendencias y a la capacidad de la profesión para aportar soluciones innovadoras o aun revolucionarias a la producción y entrega de los satisfactores que demanda la sociedad global.

Entre estas necesidades o tendencias sobresalen:

- Nuevos materiales o compuestos semiconductores, pues los materiales empleados hacia fines del siglo XX (Si, GaAs) dejan de ser confiables al tratar de producir “wafers” con capas más delgadas u otras formas de miniaturización. El diseño de los nuevos materiales y su producción a escala industrial serán importantes tareas a acometer entre químicos, ingenieros químicos y otras disciplinas. De no resolverse este problema dejará de tener validez la Ley de Moore y se interrumpirá el desarrollo continuado de la electrónica y la informática. Eventualmente las dimensiones se seguirán contrayendo hasta llegar a la computadora cuántica.
- La multiplicación de los casos de éxito ya registrados en polímeros especializados con arquitecturas moleculares controladas (como los registrados en poliolefinas modi-

ficadas mediante el empleo de catalizadores metalocenos por Dow).

- El desarrollo de materiales avanzados construidos sobre partículas nanométricas, nanoagregados, nanotubos, nanoalambres y otras nano o micro-estructuras.
- Materiales que hagan practicable el fenómeno de la superconductividad.
- Biotecnología y biomateriales.
- En paralelo con el desarrollo de materiales, existen importantes oportunidades para el desarrollo de procesos avanzados.
- Estos procesos comparten el denominador común de estar concebidos mediante un análisis y enfoque microscópico de los fenómenos y operaciones que incorporan.
- Entre los campos en donde existen oportunidades importantes se pueden señalar, entre otros:
 - Tratamiento de aguas residuales.
 - Potabilización de aguas naturalmente contaminadas con sulfuros o materiales radiactivos.
 - Potabilización de agua salada.
 - Manejo de fluidos altamente viscosos.

Al nivel de sector, las organizaciones químicas industriales, profesionales, académicas y de consultoría de los países de mayor industrialización, entre ellos Estados Unidos de Norteamérica, Europa y Japón han desarrollado sendas visiones de desarrollo que desde el último lustro de la década de 1990 o principios del siglo XXI están siendo guía para grandes decisiones para el desarrollo de la empresa privada pero con un fuerte insumo de apoyo gubernamental, incluso en los mismos Estados Unidos de Norteamérica en donde su “Visión 2020” ha sido origen en la generación de importantes medidas de apoyo a la investigación (ejemplo: el Decreto del Senado Norteamericano que otorga 3.7 billones de dólares a fondo perdido –*grants*– en apoyo al desarrollo de nanotecnologías).

Visión desde la perspectiva del mundo académico

Como se podrá apreciar enseguida, en gran congruencia con todo lo anterior, el mundo académico de los Estados Unidos ha desplegado un importante nivel de consulta y análisis en lo que va del siglo XXI. A través de una serie de talleres copatrocinados por la Fundación Nacional para las Ciencias (NSF) y el Consejo para Investigación Química (CCR), las instituciones líderes de los Estados Unidos han encontrado las siguientes tendencias:

- La propia ingeniería química y otras disciplinas están crecientemente reconociendo la importancia de las moléculas y de la ingeniería molecular; también están mostrando un interés creciente en sus procesos y en sus metodologías de análisis y síntesis.

- Se está prestando cada vez más atención a las tecnologías emergentes, como las nanotecnologías y las biotecnologías; estas últimas demandan una interacción cada vez más profunda de la ingeniería química con la biología molecular.

Estos trabajos, que han partido de reconocer debidamente las tendencias dominantes en la economía y en la industria, han llevado a las siguientes conclusiones relevantes:

“La ingeniería química está situada en una posición única entre las ciencias moleculares y las ingenierías ... con muchas oportunidades excitantes como:

- ciencias de la vida (genética, farmacéuticos, etcétera);
 - celdas combustibles, catálisis,
 - sistemas sustentables,
 - control molecular de procesos y dispositivos,”
 - y otras más.
- Todo ello conduce a la visión de que la ingeniería química está entrando a una nueva etapa en la que está jugando y jugará “un papel central en tecnologías nuevas y emergentes”, en especial en donde se requiera traducir información a escala molecular a productos y procesos. Ésta es una noticia extraordinaria y no es accidental que en Estados Unidos el ingeniero químico esté siendo el profesional recién egresado con los mejores sueldos de contratación desde hace varios años.

Una aproximación sistémica a la detección de las oportunidades que abren la transición económica misma y las rupturas o discontinuidades tecnológicas

Una forma de lograr de manera sistémica la identificación de oportunidades implicaría la utilización de un modelo de análisis como el que se describe a continuación:

- 1) Habría que tener como referencia un marco de mercado y desarrollar las recetas apropiadas para producir y entregar satisfactores en cada uno de los segmentos de la figura 1.
- 2) Contar con un catálogo de los segmentos apropiados de mercado (o satisfactores) a considerar y de los sectores de la economía que van produciendo el valor en cada satisfactor mostrado en la figura 2.
- 3) Identificar en cada cruce de estos conceptos las oportunidades para generar una ruptura en la forma de diseñar y producir un satisfactor

Posibilidad de que México participe en esta transición económica

Es preciso señalar que nuestro país no está en forma alguna al margen de esta evolución y de las oportunidades que representa.

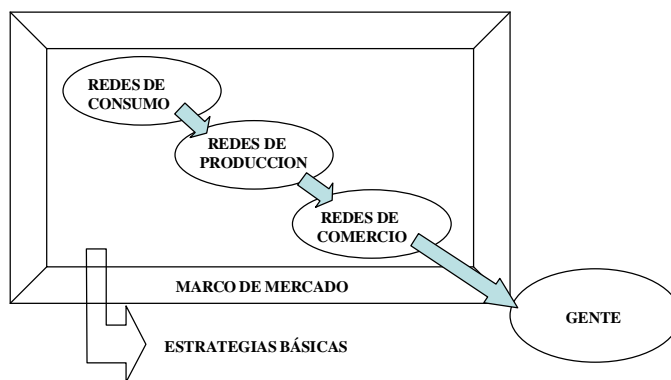


Figura 1.

Entre los desarrollos que ya hemos concretado en México se pueden señalar de manera ilustrativa los siguientes:

- Materiales avanzados que ya están en el mercado:
 - Hules avanzados para modificación de asfaltos para pavimentación; en Dynasol, SA de CV; líder de este mercado en los EU.
 - Láminas acrílicas de colado en celda con muy alta resistencia al impacto; Plastiglas de México, SA de CV; único productor mundial con esta tecnología, líder en el mercado de los EU.
 - Microconcreto pétreo (cementoso) para uso como impermeabilizante, recubrimiento pétreo, etc.; Super Materiales Masa Roca, SA de CV; en etapa de lanzamiento comercial.
- Materiales avanzados con prototipos desarrollados:
 - Productos nanoestructurados a partir de nanoelementos funcionalizados.
 - Partículas con poros nanométricos para adsorción de gases.

Satisfactores	Sector que produce el valor
• Alimentos.	• Recursos naturales.
• Habitación.	• Manufactura.
• Transportación.	• Transporte y Comercio.
• Salud y ambiente.	• Transacciones.
• Vestido y cuidado personal.	• Servicios sociales.
• Educación.	• Construcción y otros.
• Negocios personales y comunicaciones.	
• Recreación y diversión.	
• Gobierno.	

Figura 2.

- Procesos avanzados ya en el mercado:
 - Tecnología de tratamiento de aguas residuales; Tinep, SA de CV; planta operando en el Llano, D.F. (250 L/seg).
 - Tecnología para potabilizar aguas sulfurosas; Tinep, SA de CV; planta operando en la ciudad de Puebla (300 L/seg).
 - Tecnología de tratamiento de aguas naturalmente contaminadas en operaciones de campos petrolíferos y de gas natural en los EU; Tinep, SA de CV, Wyoming.

Por ejemplo, las tecnologías referidas de tratamiento de aguas se fundamentan en los principios de ingeniería al nivel molecular. En su tratamiento fisicoquímico estas tecnologías se basan en la oxidación de contaminantes con una micro-burbuja de tamaño nanométrico que a la vez que incrementa dramáticamente el área interfases entre la fase líquido (agua) y la fase gas (aire), presenta características únicas en el comportamiento de dicha burbuja, en la forma de controlarla en el proceso y en su capacidad de actuar selectivamente hacia determinados compuestos, aniones o cationes. Esta combinación de características permite que la tecnología descrita presente propiedades de desempeño extraordinarias que se traducen en una efectividad (en términos de contaminantes removidos) y eficiencia (en términos de rendimientos cuantitativos y económicos) claramente superiores a las de las tecnologías convencionales.

Todo ello ilustra la posibilidad, ya materializada en este caso, de innovar radicalmente la forma de entregar un satisfactor en el segmento Salud y Ambiente partiendo de la visión ya discutida de ingeniería de enfoque molecular.

También ilustra que no hay nada que realmente impida que estas innovaciones se generen desde nuestro país y lleguen a los mercados internacionales.

Ésta es otra excelente noticia para la profesión de ingeniería química.

Cómo mejorar la probabilidad de producir estas oportunidades en el mundo y en México

Una importante conclusión de los trabajos mencionados que se han realizado en la comunidad académica y de investigación de Estados Unidos y que realmente parecen tener validez universal, se puede resumir en la recomendación de hacer un cambio mayor al diseño de la currícula para educar en la profesión de ingeniería química considerando principalmente la integración de los siguientes elementos:

- 1) Incorporar la biología como ciencia básica de la disciplina,

- 2) Adoptar nuevos principios organizadores medulares para el currículo, a saber:
 - a. transformaciones a escala molecular:
 - i. químicas y biológicas.
 - ii. físicas: cambios de fase, fenómenos en interfaces, adsorción, etc.
 - b. descripciones a todas las escalas; desde la molecular hasta la macro.
 - c. análisis y síntesis de sistemas (y sistémica):
 - i. a todas las escalas.
 - ii. con debida consideración a aspectos sistémicos (externos, incertidumbre, etc.).

Conclusiones

Parece obligado analizar las recomendaciones más generales del trabajo académico ya realizado, confrontarlas con las tendencias y necesidades propuestas y otras más, consensuar hasta donde ello resulte posible entre las comunidades académicas nacionales y adoptar lo pertinente en cada caso a la orientación del diseño del currículum que haya escogido cada institución educativa.

Éste es, como ya se señaló, un cambio mayor, no es una mera “reforma” superficial; demanda la disposición a una transformación profunda, requiere de un programa de implantación a largo plazo, de cinco años en adelante.

Lo que sí parece claro, cuando estas conclusiones se confrontan con las principales tendencias descritas en este artículo, es que negarse por lo menos a analizar y considerar qué elementos pudieran integrarse en cada caso es tanto como resistirse a enfrentar el mismísimo cambio tecnológico y arr esgarse a quedar en un peligroso estado de obsolescencia. ▀

Bibliografía

- Aftalion Fred, *A History of the International Chemical Industry, From the “Early Days” to 2000*, Chemical Heritage Press, Philadelphia, 2001.
- American Chemical Council et al., *Technology Vision 2020*, 1996; <http://www.ChemicalVision2020.org/>.
- Arora Ashish, Landau Ralph, Rosenberg Nathan, *Chemicals and long-term economic growth*, John Wiley & Sons, N.Y., 1998.
- CCR/NSF Discipline Wide Curriculum Workshops, *Frontiers in Chemical Engineering Education*, 2003.
- Cloots Rudi, Ausloss Marcel, Pekala Marek, Hurd Alan J. Vacquier Gilbert, NATO Science Series, *Supermaterials*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1999.
- MIT, *Frontiers in Chemical Engineering Education*, <http://mit.edu/che-curriculum/2003/index.html>.
- National Research Council, *Materials Science and Engineering for the 1990s*, National Academy Press, Washington, D.C., 1989.
- Office of Technology Assessment, *Technology and the American Economic Transition*, NTIS, 1988.
- Spitz H. Peter, *Petrochemicals, The Rise of an Industry*, John Wiley & Sons, N.Y., 1988.