

Armando Rugarcía nos envía esta traducción, sin duda de interés para los docentes de la ingeniería.

Futuras directrices en la educación de la ingeniería química

James Wei*

Estamos viviendo un tiempo extraordinario de cambio, tanto por el crecimiento explosivo de nuevas oportunidades como también por la reestructuración de industrias antiguas. ¿Cómo debemos educar a nuestros estudiantes de modo que sean capaces de resolver los problemas más importantes del mañana?

Tal vez, el problema número uno en los Estados Unidos de Norteamérica actualmente es cómo mantener nuestras industrias competitivas en el mundo. Hemos visto cómo se esfuma nuestro dominio tecnológico en industrias como la textil, acero, productos electrónicos de consumo y automóviles, y debilitarse en industrias como *chips* de computación y productos químicos de alta pureza. Actualmente, los Estados Unidos de Norteamérica tienen solamente dos industrias que gozan de saludable excedente en la exportación sobre la importación: la manufactura de aviones comerciales y de productos químicos. Tenemos actualmente un excedente de exportación de estas últimas de cerca de ocho billones de dólares, así que estamos todavía arriba de los demás, pero ¿cuánto tiempo lograremos mantener ese liderazgo? ¿Por qué son Boeing y las compañías químicas mejores que las demás? Tal vez se deba a que estas compañías se ven a sí mismas como compañías tecnológicas que tratan de ganar ventajas competitivas por medio de la investigación y la innovación, y administradas por personas cuya meta es el liderazgo tecnológico.

Se dan muchas razones para el descenso del poder industrial de los Estados Unidos de Norteamérica que alguna vez fue el más poderoso:

- El capital corporativo está en manos de los administradores de los recursos y los inversionistas a corto plazo, quienes están interesados en ganancias rápidas más que en la fortaleza de las empresas.
- Hay interferencia gubernamental por medio de la EPA, OSHA, FDA y la división anti-monopolio del Departamento de Justicia.

- La fuerza del trabajo es floja, sobrepagada y le falta dedicación y ética de trabajo.

Es interesante que prácticamente no se comenta que el declive de los Estados Unidos de Norteamérica se deba a la educación inadecuada de los ingenieros. Sin embargo, no hay razón para ser complacientes y debemos continuar con la expansión de conocimientos y herramientas que nuestros ingenieros necesitan para tener las armas para formular y resolver problemas.

Necesitamos un nuevo paradigma

Ya que el papel de los ingenieros químicos está cambiando rápidamente, nos ocuparemos un momento en discutir quiénes son. Los ingenieros químicos se definen por lo que saben y por lo que hacen. Obtienen su conocimiento del *currículum* universitario y a través de su experiencia en la industrias de procesos químicos. Los ingenieros químicos crean cosas con la química, también construyen plantas, hacen equipos, enseñan a estudiantes, dan servicios gubernamentales, limpian el medio ambiente, estudian fisiología y fabrican órganos artificiales.

Los principales lugares de trabajo de estos ingenieros son las industrias químicas y las refinerías petroleras, lo que se muestra en el cuadro 1.

También trabajan en las industrias de procesamiento químico (IPC) más amplias, que emplean un 27% de la fuerza de trabajo de la industria manufacturera y proveen de un 37% del valor agregado de la actividad industrial. Comparten su trabajo profesional con científicos y otros ingenieros, pero sin sus contribuciones, la economía de los EUA se derrumbaría.

Para obtener un panorama más claro de los empleos actuales de los ingenieros químicos, vayamos a un estudio hecho por la AIChE en 1986 y que se muestra en el cuadro 2. Tres cuartas partes de los miembros de AIChE trabajan en la industria manufacturera, y casi la mitad en las industrias química y del petróleo. La electrónica es el campo que crece más rápidamente, aventajando a la industria pesada. Una cuarta parte de los miembros están en los servicios. Puede resultar sorprendente que el gobier-

* Instituto Massachusetts de Tecnología, Cambridge, M.A. 02139

Cuadro 1. Industrias de procesamientos químicos, 1984.

Industria	Empleados Miles	Valor Agregado (Millones dls)	Valor de Embarque (Millones dls)
Química	843	94 728	198 233
Petróleo	137	16 163	189 011
Alimentos	1 437	98 037	300 012
Papel	613	40 335	94 814
Caucho	732	34 193	69 512
Piedra, arcilla	533	27 707	53 405
Metal primario	805	42 291	119 089
	<u>19 140</u>	<u>963 646</u>	<u>2 253 847</u>
Quím. y Petróleo como %	5	12	
IPQ como %	27	37	

Valor agregado: Jornadas y salarios de empleados, más interés y dividendos de capital, más impuestos corporativos de ingreso (no incluye compras de bienes y servicios de otras firmas).

Fuente: U.S Statistical Abstract, 1987.

no emplee más ingenieros químicos que las universidades.

El estudio del Consejo Nacional de Investigación sobre "Las Fronteras de la Ingeniería Química: Investigación de Necesidades y Oportunidades" presidida por el Profesor Neal R. Amundson de la Universidad de Houston, se dio a conocer en noviembre de 1987. Este documento declara que hay cuatro áreas de oportunidades:

1. El desarrollo de nuevas industrias de alta tecnología que son resultado de recientes descubrimientos científicos.
 - biotecnología
 - materiales de grabación, fotónicos, electrónicos y
 - materiales avanzados
2. La readaptación de tecnologías tradicionales
 - energía
 - materias primas
3. La protección de la salud, la seguridad y el medio ambiente.

4. Nuevas ciencias, conceptos y herramientas en ingeniería como:

- computadoras
- superficies e interfases

En respuesta a estas nuevas oportunidades los ingenieros químicos necesitan reservar su acervo de herramientas y conocimientos. La palabra "paradigma" fue acuñada por Thomas Kuhn para significar un conjunto de características que diferencian a una profesión de otras, tales como:

- Una serie de problemas típicos con los que el profesional trabaja.
- Conocimientos y métodos sistemáticos que son efectivos para solucionar estos problemas.
- Un conjunto de casos clásicos que se solucionaron efectivamente que causan admiración y se estudian.

Cuadro 2. Empleos actuales de miembros AIChE.

Manufactura	%
Productos químicos y similares	34.1
Petróleo, carbón y gases	13.8
Electrónica	3.1
Alimentos	2.5
Metales primarios	2.0
Equipo de procesamiento	2.0
Papel y otros productos forestales	1.7
Piedra, arcilla, vidrio	1.1
Caucho	1.0
Otras manufacturas	<u>13.9</u>
	75
Servicios	
Diseño en ingeniería y construcción	12.0
Gobierno	4.8
Educación	3.7
Ingeniería nuclear	2.8
Utilidad pública	<u>1.3</u>
	25

Fuente: AIChE Economic Survey 1986

Nota: Químicos incluye: químico industriales, químicos en agricultura, pinturas, petroquímica, farmacéutica, jabones, plásticos.

- Libros de texto estables, *currículum* y acreditación aceptados socialmente.
- Sociedades de profesionistas independientes para que los miembros se reúnan para conocerse y establecer metas comunes.

El primer *currículum* en los EUA fue establecido por Lewis M. Norton en 1888; consistía de cursos de química industrial con temas muy específicos como jabón, trementina y sal.

El paradigma de la ingeniería química fue el de las separaciones unitarias, recopilado en el libro de texto *Principios de la Ingeniería Química* de Walker, Lewis y Mc Adams publicado en 1932. Declaraba que cualquier proceso químico puede analizarse como un conjunto de operaciones unitarias como la destilación y transferencia de calor. Así que los ingenieros químicos deben estudiar estas operaciones individuales, que pueden ensamblarse para desarrollar cualquier proceso. Esta aseveración cambió la ingeniería química en una profesión sistemática en la cual los estudiantes tienen herramientas poderosas para resolver problemas de la industria. También codificó la forma en que el conocimiento debía estar organizado y cómo debía conducirse la investigación, y desde luego cómo deberían enseñarse las diferentes materias.

Las operaciones unitarias originaron muchos problemas de investigación valiosos para los ingenieros químicos durante cuatro décadas, mientras que los avances rápidos en el conocimiento y las herramientas ayudaron al nacimiento de la refinación del petróleo y los productos químicos de consumo. Muchos ingenieros químicos fueron tan eficientes y exitosos al solucionar problemas cruciales en sus industrias que fueron elegidos para presidentes y conductores de las compañías más poderosas en el mundo. La extinción gradual de problemas importantes accesibles científicamente después de la Segunda Guerra Mundial no significó que las operaciones unitarias no pudieran ser revitalizadas por la aplicación de nuevas y más poderosas herramientas. El manejo de sólidos y material granular quedan como una vergüenza por nuestra inhabilidad de predicción y escalamiento, y los procesos de separación resurgieron una vez más.

El segundo paradigma de la ingeniería química es el de los fenómenos de transporte que apareció en 1960 con el libro de texto de Bird, Stewart y Lighfoot. Esta nueva propuesta declaró que los ingenieros químicos debían comprender los fenómenos mo-

leculares que son fundamentales para entender el funcionamiento de los equipos para procesos químicos. La teoría cinética de los gases y la mecánica de fluidos newtonianos jugaron un papel importante en este paradigma. Una vez más, muchos investigadores en ingeniería química están totalmente ocupados en la solución de problemas en este campo. Este paradigma es tan exitoso que a menudo vemos los avances anteriores como empíricos y faltos de comprensión molecular.

Ahora estamos listos para el nacimiento del tercer paradigma de la ingeniería química, una nueva manera para establecer cuáles son los problemas más importantes que debemos estudiar, y qué herramientas deben usarse para lograrlo. Nos enfrentamos con problemas y buscamos soluciones en tres escalas muy diferentes:

- (1) La microescala a nivel molecular y de estados de agregación. Las disciplinas en esta escala incluyen la termodinámica, los fenómenos de transporte y la cinética. Estas disciplinas describen las propiedades químicas fundamentales de la materia y forman la esencia de las bases científicas de la ingeniería química.
- (2) El equipo de procesamiento a escala intermedia. Impartimos cursos en operaciones unitarias y en ingeniería de reacción. En esta escala, hacemos una síntesis de elementos de la microescala para diseñar y operar equipo de procesamiento eficiente y seguro.
- (3) La macroescala de plantas y sistemas. Aquí nos avocamos al diseño de plantas, a la economía, propiedades de productos, necesidades de mercado, seguridad y medio ambiente, productividad y competencia mundial. Estos son tópicos muy importantes, pero hasta ahora impartimos pocos cursos que den a los estudiantes una adecuada preparación para enfrentarse a ellos.

Nuestros colegas, los químicos, tratan principalmente con la microescala y los ingenieros mecánicos tratan con la escala intermedia. Pero los ingenieros químicos que ejercen deben tratar con los tres niveles.

El primer paradigma de las operaciones unitarias está en la escala intermedia, y el segundo, de los fenómenos de transporte, está en la microescala. Necesitamos impartir cursos básicos que preparen a los estudiantes para enfrentar los problemas en la escala macro. Un nuevo paradigma está esperando nacer.

Cuadro 3. Áreas de atención para los Ingenieros Químicos.

Énfasis duradero	Énfasis nuevo
* Moléculas pequeñas, gases y líquidos homogéneos.	* Moléculas grandes, líquidos complejos y sólidos.
* Química orgánica e inorgánica.	* Bioquímica, ciencia de los materiales, física del estado condensado.
* Productos químicos de gran volumen de producción y precio bajo.	* Productos químicos de alto valor agregado y especialidades de pequeño volumen de producción.
* Productos no diferenciados en ciclos de larga vida.	* Productos patentados y diferenciados con ciclos de corta vida.
* Plantas con proceso continuo.	* Plantas flexibles con procesos discontinuos.
* Innovaciones para mejorar procesos y reducir costos.	* Innovaciones para mejorar el comportamiento de los productos.
* Equipos de proceso de escala intermedia.	* Agregados moleculares en microescala, productividad de plantas, competencia mundial, seguridad y ecología.
* Ciencia y tecnología.	* Preocupación por el medio ambiente, los problemas sociales, ética, humanidades.

Nueva dirección en los cursos

Como una consecuencia de las nuevas tendencias, los problemas que enfrentarán los ingenieros químicos futuros serán diferentes de los de hoy en día. Además de los problemas clásicos de producción de productos de consumo, enfrentarán otros nuevos. Debemos revisar el *currículum* para que los ingenieros químicos tengan los conceptos y las herramientas necesarias. He listado las permanentes y nuevas áreas en ingeniería química en el cuadro 3. Lo que es importante para la refinación del petróleo y los petroquímicos lo será aún en las décadas próximas, pero no debemos negar las áreas de nuevos problemas que emergerán.

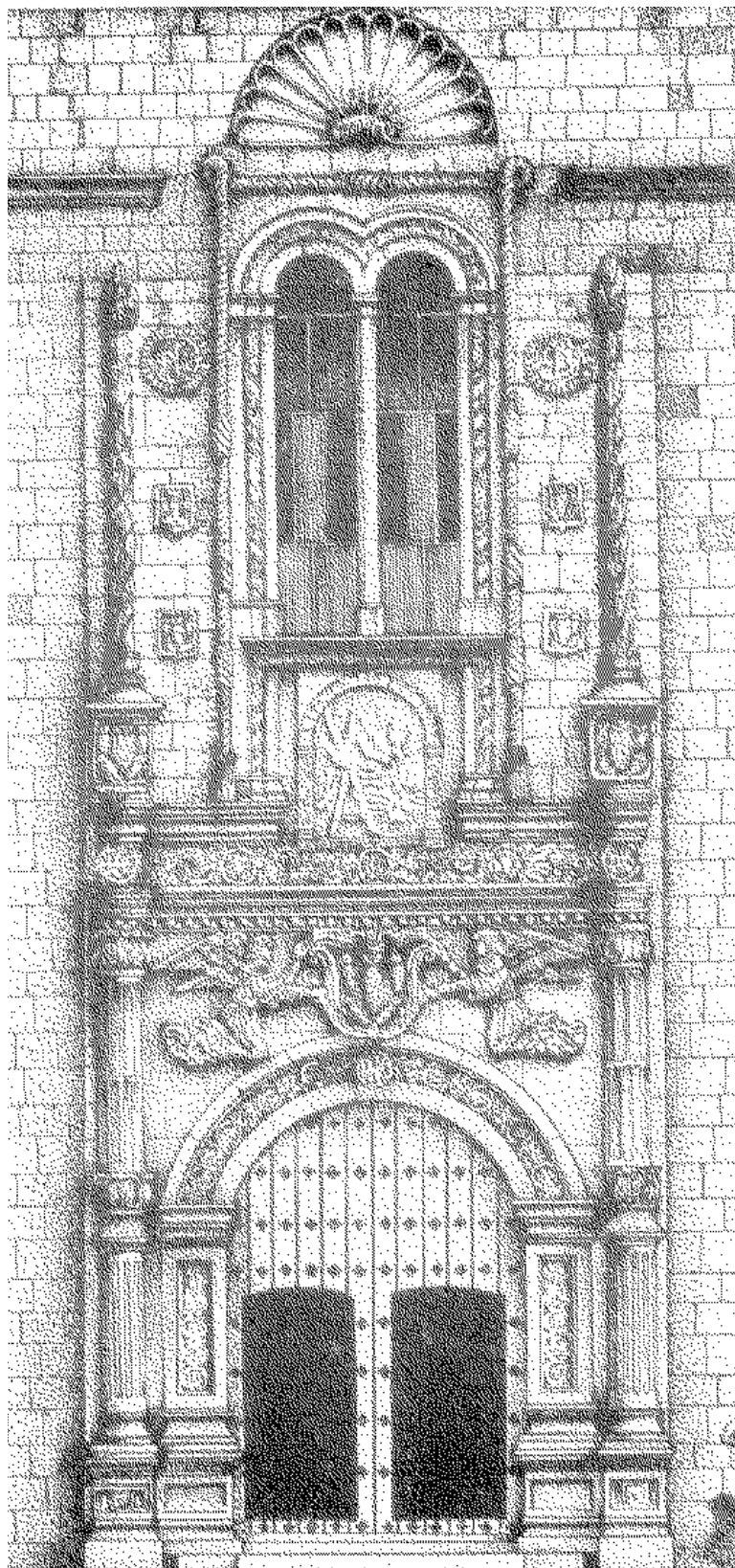
¿Cómo trataremos con todas estas nuevas temáticas? Podemos revisar los cursos existentes, impartir nuevos o cambiar el programa de licenciatura. Muchas de las reformas pueden ser logradas cambiando el contenido de los cursos ya existentes. En los cursos tradicionales, ilustramos el poder de los conceptos en Ingeniería Química mediante la solución de los problemas de manufactura. En el texto de 1923 de *Principios de la Ingeniería Química*, los ejemplos se obtuvieron de la utilización del carbón como materia prima. Los libros de texto en los 60's y 70's tratan de resolución de problemas de manufactura en la refinación del petróleo y de petroquímicos de consumo. Estos principios de la ingeniería química también pueden ser ilustrados por medio de problemas de las tecnologías que emergen. Hay varios grupos que están trabajando en el desarrollo de este material para su utilización en el salón de clases por los

maestros que están familiarizados con los principios pero no con las aplicaciones en estas nuevas industrias. Una serie de directrices sugeridas en cursos existentes se enlistan en el cuadro 4.

También necesitamos cursos nuevos para ampliar los horizontes de nuestros estudiantes. Sería deseable tener ingenieros experimentados en las tecnologías emergentes para que los estudiantes que deseen seguir estas directrices, tales como la biotecnología, microelectrónica y nuevos materiales.

Es bastante difícil para los ingenieros químicos resolver problemas de manufactura si no están familiarizados con la química de superficies y de coloides, y con la ciencia e ingeniería de polímeros. Son tantos los problemas que conciernen con los fenómenos de superficie e interfase, con fluidos complejos estabilizados por surfactantes o polímeros, con emulsiones y miscelas, y con las propiedades de polímeros, que uno está tentado a decir que tales cursos deben impartirse.

También necesitamos cursos en la macroescala, para que los estudiantes estén familiarizados con un "Amplio Panorama" de cómo los ingenieros químicos pueden llenar las necesidades y expectativas de la sociedad. La justificación final de los ingenieros químicos es su contribución a la sociedad: pueden desarrollar productos que ella requiere con la mejor calidad y a precios adecuados, pueden mejorar la productividad y ayudar a sus compañías a competir en el mundo, pueden mantener alta ética profesional, y pueden proteger a los trabajadores y al público de sustancias tóxicas y de accidentes. Un aumento en



Cuadro 4. Dirección de cursos existentes.

Énfasis Duradero	Énfasis Nuevo
Termodinámica	
Moléculas pequeñas	Moléculas grandes
Gases y líquidos simples	Líquidos complejos y sólidos
Teoría cinética de los gases	Mecánica estadística
Fenómenos de Transporte	
Difusión de gases	Difusión configuracional
Difusión Knudsen	Difusión de líquidos y sólidos
Mecánica Newtoniana de fluidos	Mecánica Newtoniana y de fluidos poliméricos.
Cinética	
Reacciones homogéneas en fase gas	Reacciones sólido-fluido
Reacciones catalíticas	Reacciones bioquímicas Polimerización
Separación	
Destilación de petróleo	Separación de proteínas Muy alta pureza Membranas
Ingeniería de reacción	
Reactores continuos	Reactores discontinuos y con flexibilidad en su uso
Petróleo y petroquímica	Polímeros, biotecnología, electrónica
Maximización de la producción y selectividad de productos	Minimización de riesgos y emisiones dañinas
Diseño	
Procesos	Productos
Experiencia económica	Calidad de productos Seguridad, medio ambiente

las disciplinas humanas y ciencias sociales sensibilizarán a los estudiantes a las necesidades del mundo.

Una de las más urgentes tareas es el desarrollo de cursos en "Ingeniería de Productos". El corazón de la ingeniería química, lo mismo que el de otras ingenierías se relaciona con el procesamiento y esperamos que alguien desarrolle un producto y que proporcione los datos básicos para su escalamiento. Un producto debe tener clientes, y la mercadotecnia es la herramienta para encontrar lo que los clientes desean. Es la tarea de los ingenieros de productos diseñar o descubrir productos con las características deseadas. En otras disciplinas, los in-

genieros aeronáuticos diseñan aviones y naves espaciales, los ingenieros eléctricos transformadores y computadoras, los ingenieros civiles puentes y estructuras, y los ingenieros mecánicos compresoras. En años recientes, muchos ingenieros químicos se han involucrado mucho en el diseño de catalizadores, polímeros y muchos otros productos, pero esto no se ha cristalizado en uno o más cursos elementales sobre diseño de productos. Mientras que los ciclos de productos se vuelven más pequeños, muchos de ellos se vuelven obsoletos tan rápidamente que no es necesario desarrollar procesos de producción más avanzados. La ingeniería de producto puede ser un importante campo de actividad en el futuro, y nuestros estudiantes necesitan el entrenamiento necesario para enfrentarse con ello.

Se puede discutir que hay poco en común entre la química de producto y la ingeniería de aceites lubricantes y jabón cosmético, y por tanto concluir que debemos concretarnos a enseñar la química industrial en la forma tradicional y aburrida. La clave para la ingeniería de producto debe ser un conjunto de principios comunes para el desarrollo y diseño de cualquier producto. Tal vez los principios involucran la relación entre la estructura agregada y molecular por una parte, y sus propiedades y características por otra, así como la forma en que estas propiedades y características son afectadas por el proceso de producción.

El programa de licenciatura

Es fácil estar de acuerdo en que los ingenieros químicos tendrán que saber mucho más para solucionar problemas en el futuro. ¿Cómo podemos incluir más contenido en el mismo programa de cuatro años de licenciatura? De hecho este programa de estudios se está convirtiendo en ficción en muchas universidades en donde el número promedio de años de estudio es de cinco años. El programa es tan rígido que cualquiera que quiera divertirse un poco en la universidad, unirse al ROTC, tocar en la banda, o cambiar de especialidad, tendrá que pagar el precio de cinco años.

Tenemos la suposición tradicional que el primer grado profesional es la licenciatura de cuatro años. Los estudiantes aprenden fundamentos en este período, después trabajan en las industrias como ayudantes de ingenieros experimentados durante algu-

nos años para obtener el conocimiento necesario para convertirse en ingenieros independientes y maduros. Esta aseveración conlleva problemas, ya que las industrias tradicionales están reduciendo su personal experimentado y las industrias nuevas no tienen este tipo de personal para enseñar a los nuevos ingenieros. Contamos con que una cuarta parte de nuestros estudiantes de licenciatura estudian un posgrado para adquirir un entrenamiento avanzado, pero el porcentaje de los mejores estudiantes de los EUA que eligen este camino están disminuyendo y estamos siendo cada vez más dependientes de los inmigrantes para la enseñanza y la investigación. ¿Estamos siguiendo el camino de la Orquesta Sinfónica de Boston, en la cual un nacido en Norteamérica es una rareza? Las escuelas para graduados de administración, leyes y medicina están incorporando un porcentaje cada vez mayor de los mejores alumnos que se gradúan. ¿Se debe esto a los dos caminos que ofrece la industria para ascender a los puestos superiores en donde el camino corto es más rápido para los administradores y el más lento para ingenieros experimentados? ¿Cómo podremos tratar estos problemas?

Permítanme proponer un esquema realista que puede ser la base para un nuevo consenso. El primer grado "profesional" deben ser los cuatro años de licenciatura que deben dar una educación general adecuada para una variedad de interesantes carreras profesionales. Sin una mayor especialización escolar o industrial, la licenciatura debe ser suficiente para incursionar en cualquier trabajo técnico, tal como , mercadotecnia, personal, administración, producción y planeación. Para ser efectivo en un trabajo técnico más avanzado, tal como diseño, desarrollo de procesos y construcción, el graduado necesita o la maestría o preparación con un ingeniero experimentado y educación continua. Para una carrera en enseñanza o investigación, un doctorado sería necesario. Déjenme pretender que podemos dar suficiente educación en cuatro años con los alumnos de preparatoria que tenemos, de tal manera que podemos entrenar a un egresado de licenciatura inmediatamente después de su graduación. Consideremos que la licenciatura en cuatro años como una preparación general para un buen número de excitantes trabajos profesionales y para incursionar en una educación más avanzada en ingeniería química. ▀