



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

ANÁLISIS Y PERSPECTIVAS DE LA INGENIERÍA QUÍMICA
EN UN ENTORNO GLOBALIZADO

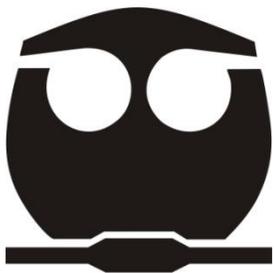
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

P R E S E N T A

RAFAEL MARTÍNEZ REED



MÉXICO, D.F.

2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Profesor Eduardo Rojo y de Regil

VOCAL: Profesor Reynaldo Sandoval González

SECRETARIO: Profesor José Antonio Ortiz Ramírez

1er. SUPLENTE: Profesor Alejandro León Iñiguez Hernández

2° SUPLENTE: Profesor Alejandro Zanelli Trejo

SITIO DE DESARROLLÓ DEL TEMA:

Edificio E, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México

ASESOR: Reynaldo Sandoval González

SUSTENTANTE: Rafael Martínez Reed

Dedicatoria

A mi madre, por el gran esfuerzo que ha hecho todos estos años y por su amor incondicional.

A mis tíos, Paco y Gerardo, los padres que la vida me ha dado.

Agradecimientos

A mi madre, a mi abuela, a mi abuelo, a Martha y al resto de los Reed porque su apoyo a lo largo de mi vida ha sido fundamental para hacer de este sueño una realidad. A Tatiana por ser mi compañera incondicional durante casi cuatro años. A mis amigos y amigas, porque siempre han creído en mí. A Bada, Jorge, Lads, Miguel, Pepe, Robbie y Tamés por ser los hermanos que nunca tuve. A Reynaldo Sandoval y a Eduardo Rojo y de Regil, por toda la ayuda que me brindaron durante la elaboración de este trabajo y a Edgar y Gabriel, mis compañeros y amigos de la carrera, por su apoyo y esfuerzo durante todos estos años.

ÍNDICE

Introducción.....	7
CNICIQ y el estudiante de Ingeniería Química.....	7
Objetivo del trabajo	10
Antecedentes.....	10
Capítulo I. Origen y evolución de la ingeniería química.....	18
Antecedentes.....	18
Hasta antes del siglo XX.....	18
Desarrollo durante el siglo XX.....	23
Aspectos relevantes para la disciplina.....	23
Nuevos productos y procesos.....	27
Aspectos ambientales y de seguridad.....	31
La Ingeniería Química como una disciplina formal.....	35
Capítulo II. Primer paradigma de la ingeniería química:	
Las operaciones unitarias.....	38
Capítulo III. Segundo paradigma de ingeniería química:	
Fenómenos de transporte.....	42
Capítulo IV. Principales logros de la ingeniería química consolidados durante el siglo XX.....	46
El desarrollo de la Petroquímica.....	48
Desarrollo de la industria de los polímeros.....	54
Desarrollo de la tecnología nuclear.....	60

Desarrollo e impacto de los fertilizantes.....	69
Capítulo V. El futuro de la ingeniería química.....	76
Nuevas herramientas, técnicas y enseñanza.....	77
Los Sistemas Computacionales.....	77
Simulación Molecular.....	78
Modelado Dinámico.....	80
Redes Neuronales.....	81
Internet.....	82
Herramientas analíticas.....	84
Desarrollo Continuo de las Operaciones Unitarias.....	84
Ingeniería Bioquímica y Biotecnología.....	86
Las Ciencias de los Materiales.....	88
Enseñanza.....	89
Nuevas colaboraciones.....	91
Reorientado la ingeniería química.....	92
Panorama reciente de la ingeniería química.....	93
Panorama actual de la industria química.....	98
Productos diferentes requieren habilidades diferentes.....	101
Habilidades disponibles actualmente.....	104
Las nuevas habilidades del ingeniero químico.....	106
Perspectiva Global de la ingeniería química.....	112
Conclusiones y Recomendaciones.....	137
Bibliografía.....	143

INTRODUCCIÓN

CNICIQ y el estudiante de Ingeniería Química

Desde el año 2000, llegó a la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, a través del Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos (IMIQ), la propuesta para la creación de un centro de información sobre la carrera de Ingeniería Química: el Centro Nacional de Información sobre la Carrera de Ingeniería Química. El objetivo principal de dicho centro es ocuparse del análisis, de la evaluación y de las tendencias de la profesión de Ingeniería Química a nivel nacional.

Dicha propuesta recibió un claro y comprometido apoyo por parte de la Facultad de Química. Se designó como sede para el proyecto a la Coordinación de la Carrera de Ingeniería Química, a cargo del Dr. Reynaldo Sandoval González, y desde sus inicios se contó con la colaboración del Ing. Eduardo Rojo y de Regil.

La principal aportación de la Facultad al centro, ha consistido en enriquecer la información disponible por medio de la elaboración de tesis de licenciatura de la carrera de ingeniería química mediante temas relacionados con el ámbito académico, con el papel que desempeña el ingeniero químico en la industria, así como con estudios de diversos sectores de industria que permitan sentar las bases para la preparación y adaptación de la carrera en el futuro.

El estudiante juega un papel muy importante en las aportaciones que la Facultad de Química ha realizado y está realizando para el Centro Nacional de Información sobre la Carrera de Ingeniería Química (CNICIQ). Ha sido el estudiante quien con esfuerzo y dedicación ha realizado proyectos de tesis que han enriquecido el acervo del CNICIQ.

Con el esfuerzo de los estudiantes y de los coordinadores del CNICIQ, se han logrado concluir los siguientes proyectos:

- Análisis Prospectivo de la Oferta y la Demanda de Ingenieros Químicos y Químicos en México
- Impacto de la Tecnología de Información en la Industria Química
- Estudio del Índice de Alumnos Titulados en la Licenciatura de Ingeniería Química en México de 1991 a 2000
- Análisis de los Planes de Estudio de la Carrera de Ingeniería Química
- La Enseñanza de la Ingeniería Química del Futuro ante los Retos de la Globalización
- Análisis de la Evolución Profesional de los Alumnos de Ingeniería Química Generación 1988
- Origen y Perspectivas del Postgrado en Ingeniería Química en México
- La Participación del Ingeniero Químico en la Industria Eléctrica en México
- Análisis de la Enseñanza Experimental de la Carrera de Ingeniería Química en Universidades de Canadá, Estados Unidos de América y México
- Las Disciplinas Sociales y de Humanidades en la Formación del Ingeniero Químico
- El Papel del Ingeniero Químico en la Problemática de Residuos Industriales
- La Participación del Ingeniero Químico en la Industria Farmacéutica

- Estudio Comparativo de la Formación de los Ingenieros Químicos en México y en Gran Bretaña
- La Participación del Ingeniero Químico en la Industria Alimenticia en México
- Las Materias Económico-Administrativas en los Planes de Estudio de Ingeniería Química
- Opinión de los Empleadores en Relación con los Egresados de la Carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Química de la UNAM
- La Participación del Ingeniero Químico en el Campo de la Informática en México
- Análisis de la Evolución Profesional de los Alumnos de Ingeniería Química Generación 1995
- Propuesta para Incorporar Conceptos de Calidad a los Planes de Estudio de la Facultad de Química
- La Ingeniería Química y la Biotecnología
- Orígenes, evolución y Perspectivas de la Industria Petroquímica
- El papel del ingeniero químico en la industria Petroquímica
- Centro Nacional de Información sobre la Carrera de Ingeniería Química
- La Nanotecnología y su relación con la Ingeniería Química

- Análisis y evolución de la industria química en México 1980-2007
- Análisis comparativo de los planes estudio de la carrera de Ingeniería Química en el MIT y la Facultad de Química de la (UNAM)

Así, el papel del estudiante en el CNICIQ, es el de enriquecer el acervo de información por medio de trabajos de tesis.

Objetivo del Trabajo

El objetivo fundamental de este trabajo consiste en la elaboración de un informe escrito relativo al análisis y perspectivas de la ingeniería química en un entorno globalizado. Se buscará dar respuesta a las principales interrogantes relacionadas con el futuro de la carrera de ingeniería química mediante una exhaustiva búsqueda documental que permita identificar y caracterizar las nuevas áreas emergentes en la que la ingeniería química desempeñará un papel fundamental en el futuro.

Se determinarán los principales retos a los que se enfrentará la ingeniería química en los años venideros como también algunas de las variables que permitirán afrontarlos de manera exitosa en todos los diferentes ámbitos en los que esta disciplina se desenvuelve; desde el núcleo académico y docente hasta el nivel práctico profesional y de la investigación.

Además de lo anterior, este proyecto permitirá identificar las fortalezas y oportunidades que se proyectan en el devenir de la carrera de ingeniería química, así como debilidades y amenazas inherentes al futuro de la misma.

Antecedentes

Desde sus orígenes, el hombre ha tenido que cubrir una serie de necesidades que le han obligado a transformar los productos que la naturaleza le ofrecía. Estas necesidades se han incrementado a lo largo de su historia, ya que, a medida que se

satisfacían unas, aparecían otras nuevas. Esto ha traído consigo que el grado de transformación de los productos naturales haya sido cada vez mayor y más complejo.

El descubrimiento del fuego origina la aplicación de las primeras operaciones de proceso a las necesidades humanas (alimentación, vivienda, vestido y transporte).

De entre las operaciones de proceso, fue quizás la filtración la primera en ser utilizada por el hombre, pues existen pruebas documentales de su utilización provenientes del siglo V a.C. en Egipto. Dentro de los procesos conocidos en la antigüedad destacan por su importancia la fermentación para obtener vino; la obtención de materiales cerámicos; la obtención de tintes; la metalurgia del cobre y la obtención de sal común mediante evaporación del agua de mar por energía solar.

Caben mencionar otros procesos posteriores, pero igualmente muy antiguos: los hornos de cal de Mesopotamia (2500 a.C.); la obtención del bronce (3000 a.C.) y la obtención del hierro (1500 a.C.).

No obstante que algunas de estas operaciones de proceso son la base y el origen de las modernas operaciones unitarias, no pueden ser consideradas como constituyentes de una industria química propiamente dicha. Su escala de operación, su desarrollo y la forma de introducir modificaciones al proceso, totalmente empírico, hacen que se les considere como procesos artesanales.

No es sino hasta la edad moderna cuando se puede hablar del inicio de las actividades industriales. Durante el siglo XVI, se busca la "verdad" a través del análisis metafísico, lo cual tuvo como consecuencia la observación y el análisis de hechos de forma empírica, aportando la experimentación y el razonamiento inductivo como herramienta.¹

¹ Cfr. Klimovsky, G., *Las desventuras del conocimiento científico. Una introducción a la epistemología*, A-Z editora, Bs.As., 1999

La "revolución científica" que tuvo lugar durante el siglo XVII se basó en el concepto del empirismo racionalista de que "sólo se conceptúa lo que se puede medir y lo que se mide se ordena".

A finales del siglo XVII, aparece en Inglaterra una nueva forma de producción: "la manufactura", que sin modificar las técnicas de producción, si establece una verdadera división del trabajo y fija las bases necesarias para la evolución hacia la producción mecanizada.

Durante el siglo XVIII, se acumulan conocimientos que al final de ese siglo y principios del siguiente son aplicados, lo que desemboca en la "revolución industrial", que modifica las relaciones sociales y separa a las clases productivas.

La moderna industria química comienza realmente su desarrollo a mediados del siglo XVIII. En 1746 se desarrolla a punto el método de las cámaras de plomo para producir ácido sulfúrico, y en 1791 Leblanc desarrolla el proceso para producir carbonato de sodio. Es en esta etapa cuando se aceleran los primeros desarrollos constituyentes de lo que será la moderna industria de los procesos químicos.

La moderna industria química trajo consigo que la forma de "hacer química" que hasta ese momento se había utilizado no fuera capaz de dar respuesta a las nuevas necesidades que eran demandadas. Se produce en consecuencia un vacío que debe cubrir una nueva disciplina que pueda dar satisfacción a estas necesidades creadas por la moderna industria química. Este vacío deberá ser cubierto por lo que, hoy en día, se conoce como Ingeniería Química.

Sin embargo, la profesión de ingeniero químico no se desarrolla de un modo inmediato y paralelo con la naciente industria química sino que esta profesión comienza su desarrollo formal con casi un siglo de retraso. Ello se debe, como indica W. Lewis², a que los químicos de aquella época se limitaron a buscar resultados inmediatos que

² Cfr. Tapias G. H., *Ingeniería Química: Escenario futuro y dos nuevos paradigmas*. Ingeniería Química. Revista española, Editorial alción, s.a. No. 359 Julio/agosto 1999.

aportaban soluciones a un problema concreto y determinado. A diferencia de los ingenieros de otras ramas, no buscaron sentar bases generales que permitieran la aplicación a otros procesos ni tampoco soluciones tecnológicas más amplias.

Llegado a este punto, una vez que se ha establecido la necesidad de la ingeniería química y antes de continuar con la evolución de la misma, sería conveniente definirla. Para ello conviene acudir a personas e instituciones que han tenido, y tienen, un gran peso específico dentro de este campo.

- Para el *American Institute of Chemical Engineers (AIChE)*, la Ingeniería es el campo de la actividad humana en que los conocimientos de las Ciencias Físicas y Naturales, y de la Economía se aplican a fines útiles. La Ingeniería Química es la parte de este campo que trata las modificaciones en la composición, contenido energético o estado físico que pueden experimentar las sustancias. Por último, la misión del Ingeniero Químico es el desarrollo de los procesos industriales, es decir, transformar cualquier concepción de laboratorio en un proceso eficiente de fabricación.

En los estatutos del AIChE se dice: "La Ingeniería Química es la aplicación simultánea de los principios de las Ciencias Físicas, de los principios de las Ciencias Económicas y de las relaciones humanas en campos que pertenecen directamente a los procesos o los equipos en los que se trata la materia con el fin de conseguir un cambio de estado, de energía o de composición".

- Para el Prof. J. Cathalá (1951), *del Institut du Génie Chimique du Toulouse*: "La Ingeniería Química es el arte de concebir, calcular, diseñar, construir y hacer funcionar las instalaciones donde se efectúa a escala industrial cualquier transformación química".

- El Prof. M. Lefort (1961), *del Institut du Génie Chimique du Toulouse*, Francia, añade a la definición del Prof. J. Cathalá lo siguiente: "...transformación química y operación física de separación inmediata".

- Según H. F. Rase (1968): "La Ingeniería Química comprende las actividades relacionadas con la producción rentable de cosas útiles por procesos que implican fenómenos químicos o fisicoquímicos en una o más etapas".
- Otra definición es la de P. Le Goff (1975): "La Ingeniería Química es el conjunto de métodos y de técnicas utilizados por los ingenieros en la industria química, es la metodología y la tecnología de la industria química".
- El Prof. A. Vian define: "La Ingeniería Química es saber hacer Química a escala industrial".
- Según el Instituto de Ingenieros Químicos de Gran Bretaña: "La Ingeniería Química es una rama de la Ingeniería relacionada con los procesos en los que la materia sufre un cambio de composición, contenido energético o estado físico a través de diversos medios de proceso que permiten la obtención de productos con una aplicación directa a la consecución de objetivos útiles".

La incorporación creciente y acelerada de nuevos conocimientos en todas las actividades humanas hace más incierto y aparentemente caótico el futuro de la ingeniería en todas sus ramas. "La constatación de que la mayor parte de las realidades que conocemos hoy, creadas por el hombre, casi seguramente no sobrevivirán en el futuro y muchas que lo serán no existen hoy o apenas se insinúan"³, evidencia la necesidad de disponer de metodologías y herramientas que permitan construir imágenes anticipadas del futuro, para prever problemas y oportunidades con los cuales se enfrentarán las acciones de los hombres. Conjeturar sobre los devenires

³ Cfr. *Guía para el diseño de un perfil de formación Ingeniería química*, Agència per a la Qualitat del Sistema Universitari de Catalunya, Josep Turon i Triola et al., 1ª edición, septiembre 2006

posibles o probables en todos los ámbitos de las actividades humanas con la intención de advertencia anticipada, es en síntesis el objetivo último de la prospectiva.⁴

Tener una imagen aproximada sobre el rumbo y el estado futuro de la ingeniería química en el mundo no sólo resulta de capital importancia para la planeación del desarrollo y la supervivencia de las industrias de procesos químicos, sino que también es un punto de referencia obligado para el diseño de los planes de estudio en esta profesión. Para los países en desarrollo es ilustrativo conocer el estado inmediato y a corto plazo de la ingeniería química, pues la evolución de esta disciplina está auto contenida en la corriente vertiginosa de cambios que se vienen experimentando en la industria de procesos químicos en el marco de una industria globalizada -caracterizada por un mercado mundial, una base productiva mundial y un entorno tecnológico mundial.- La imagen regional de futuro cercano es sólo una imagen ligeramente adaptada del presente de las industrias de los países líderes, no porque el subdesarrollo sea una etapa en el camino del desarrollo sino por el grado de dependencia tecnológica y económica que derivamos de ellos⁵.

Para hablar de futuro es necesario hacer retrospectiva y respondernos preguntas orientadoras como, ¿cuál ha sido la historia de la ingeniería química?, para saber sobre: ¿cuáles son sus orígenes?, ¿cuáles sus paradigmas centrales?, ¿cuáles sus problemas no resueltos?, y ¿cuáles los grandes retos que consolidaron su existencia?, Asimismo, la búsqueda a una respuesta para dichas interrogantes resulta en en una mirada exploratoria del porvenir, para así identificar las tendencias, los retos y oportunidades que se avienen.

⁴ Cfr. Tapias G. H., *Ingeniería Química: Escenario futuro y dos nuevos paradigmas*. Ingeniería Química. Revista española, Editorial alción, s.a. No. 359 Julio/agosto 1999.

⁵ Cfr. Tapias G.H., *Ingeniería Química: Escenario futuro y dos nuevos paradigmas* Ciencia y Tecnología. Vol 16 pag: 25-36. No.: 4 Octubre/Diciembre 1998.

CAPITULO I

ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LA INGENIERÍA QUÍMICA

1. Antecedentes.

No cabe duda que la ingeniería química ha estado presente desde la época en que los primeros hombres dominaron el uso del fuego para su beneficio. A partir de ese momento fueron múltiples las ocasiones en que destacados personajes, en sus respectivas épocas, fueron mostrando lo que muchos años después sería la base de la ingeniería química. Una ingeniería que en sus inicios tuvo una elevada composición de mecánica y de química, pero que prontamente supo definir la razón de su existencia, formalizando sus premisas y objetos de estudio, hasta alcanzar su fundación.

Desde sus inicios el campo de acción fue tan amplio, que a poco de nacer como disciplina, se hizo necesario estandarizar los programas académicos para velar por sus contenidos y la calidad de la enseñanza. Fue así como en el año 1925, el AICHE (*American Institute of Chemical Engineers*) comienza la acreditación de los programas de Ingeniería Química en los Estados Unidos de América. Este proceso de acreditación para los programas de Ingeniería Química fue la base de la iniciativa de acreditación ABET instituida en el año 1933.⁶

La realización de un apretado resumen sobre la historia de la ingeniería química no permite dejar de destacar a aquellos que fueron forjando el carácter de lo que sería esta profesión, la ingeniería Química. Cómo no destacar a aquellos en los cuales debemos reconocer a los auténticos Ingenieros Químicos; a aquéllos que fueron capaces de resolver los problemas de su época, sin casi disponer de medios; sólo con su voluntad, tesón y con una mente superior adelantada a su época.

⁶ Cfr. *Guía para el diseño de un perfil de formación en Ingeniería química*, Agència per a la Qualitat del Sistema Universitari de Catalunya, Josep Turon i Triola et al., 1^a edición, septiembre 2006

Entre estos grandes hombres debemos destacar a Demócrito, quien a mediados del año 440 a.C. propone el concepto de Átomo para describir las partículas indivisibles e indestructibles que componen la sustancia de todas las cosas. A Arquímedes (250 a.C.) quien deduce la Ley de la Palanca y evalúa la densidad relativa de los cuerpos, observando su fuerza de empuje al ser sumergidos en agua.

También debemos destacar en un recuento de este tipo a John Winthrop Jr. quien en el año 1635 instala la primera Planta Química, en Boston, para producir nitrato de potasio (usado para preparar pólvora). A Evangelista Torricelli, quien en 1644 inventa el barómetro; a Blaise Pascal que en 1647 determina la presión atmosférica e inventa una máquina (la pascalina) para sumar y restar, la que sin duda es un remoto precursor de las actuales calculadoras; y a Robert Boyle quien en 1662 establece la conocida ley que lleva su nombre.

A mediados del siglo XVIII comienza la denominada Revolución Industrial (la que se dice dura hasta mediados del siglo XIX, aunque muchos sostienen que aún perdura). En este siglo, en el año 1749, se comienza a producir ácido sulfúrico usando el método de las cámaras de plomo. En el año 1766, Henry Cavendish descubre el “Aire Inflamable” (más tarde denominado Hidrógeno); en 1772 Daniel Rutherford describe el “Aire Residual”, primera descripción pública del Nitrógeno y en 1775 Antoine Lavoisier muestra que el fuego se debe a una “reacción exotérmica” entre sustancias combustibles y oxígeno, también demuestra que el dióxido de carbono, el ácido nítrico y el ácido sulfúrico contenían oxígeno y denomina como Hidrógeno (del griego, generador de agua) al gas descubierto anteriormente por Cavendish. Finalmente, también en este siglo, se debe destacar a Jacques Alexandre Cesar Charles, quien estudia el cambio de volumen de los gases con la temperatura y a Nicolás Le Blanc quien desarrolla un proceso para convertir sal común en carbonato de sodio.

En el año 1802 Louis Joseph Gay-Lussac enuncia la Ley de Gases Ideales y se funda la compañía *E. I. du Pont de Nemours and Co.* (actualmente DuPont), que construye

una planta de pólvora en las cercanías de Wilmington, Delaware. En 1810, Joseph Louis Gay-Lussac deduce las ecuaciones de fermentación alcohólica y un año después Amadeo Avogadro demuestra que a igual volumen y bajo la misma presión y temperatura todos los gases contienen el mismo número de moléculas y que un número dado de moléculas de cualquier gas tendrán un peso proporcional a su peso molecular. En la actualidad, el valor aceptado para el Número de Avogadro es $6,023 \times 10^{23}$ moléculas por mol.

Entre los logros previamente citados, hubo un gran desarrollo en esta naciente disciplina, algunos de los máximos exponentes y aportes se detallan a continuación:⁷

1828 Frederic Wöhler sintetiza el primer compuesto orgánico a partir de compuestos inorgánicos (úrea).

1835 Jöns Jacob Berzelius publica la primera teoría general sobre catálisis.

1842 Julius Robert Mayer enuncia la Ley de la Conservación de la Energía. (Primera Ley de la Termodinámica).

1845 Herman von Helmholtz y Julius Robert Mayer formulan las Leyes de la Termodinámica.

Alfred Kolbe sintetiza el ácido acético.

1850 Joule demuestra la equivalencia de varias formas de energías (calor, eléctrica, mecánica).

1853 Se extrae queroseno del petróleo.

⁷ Cfr. W. M. Pafko. *History of Chemical Engineering*. Artículo disponible en línea en <http://www.pafko.com/history/>

1855 Benjamín Silliman, de New Haven, Connecticut, obtiene productos valiosos por destilación de petróleo (naftaleno, gasolina y varios solventes).

1856 Bessemer desarrolla un proceso para fabricar acero en gran escala.

1858 Friederich August Kekulé von Stradovitz propone que los átomos de carbono pueden formar cadenas.

1859 Se perfora el primer pozo de petróleo comercialmente exitoso cerca de Titusville, Pennsylvania. Este pozo de setenta pies de profundidad marca el inicio de la industria del petróleo; la que hasta el día de hoy, ha estado estrechamente ligada al desarrollo de la Ingeniería Química.

1863 Ernest Solvay perfecciona su método para producir carbonato de sodio.

1866 Alfred Nobel desarrolla la Dinamita.

Alexander Parkes inventa el celuloide y es considerado el padre de los plásticos.

1869 Dimitri Mendeleiev publica una tabla de elementos químicos, la que representa la base de la bien conocida tabla periódica.

John Hyatt en Albany, Nueva York produce a escala industrial celuloide, el primer plástico sintético de amplio uso comercial.

1874 El graduado alemán Tomar Zeidr descubre la fórmula química para el DDT.

1876 Se forma la American Chemical Society (ACS).

1878 Josiah Willard Gibbs desarrolla la teoría de la Termodinámica Química introduciendo las ecuaciones fundamentales y relaciones para el cálculo del equilibrio, la regla de las fases y el concepto de energía libre. Su trabajo permaneció en el anonimato, hasta que en 1883, Wilhelm Ostwald lo descubrió y lo tradujo al alemán.

Constantin Fahlberg descubre la sacarina.

1883 Osborne Reynolds publica su trabajo sobre el Número de Reynolds, un número adimensional que caracteriza los flujos laminar y turbulento, relacionando las fuerzas viscosas e inerciales presentes en el sistema fluido.

1884 Se patentó el proceso de filtración por floculación Química.

El proceso Solvay se transfiere a los Estados Unidos de América y la *Solvay Process Co.* comienza a producir carbonato de sodio en Siracusa.

Svante Arrhenius y Friederich Ostwald, independientemente definen ácido como una sustancia que libera iones de hidrógeno cuando se disuelve en agua.

1885 Karl Benz desarrolla la gasolina automotriz.

Posteriormente al establecimiento del primer programa formal de educación en ingeniería química, continúa el frenético crecimiento y desarrollo de la nueva profesión. Es así como en el año 1892 la Universidad de Pennsylvania comienza con su currículo en Ingeniería Química y Diesel desarrolla su máquina de Combustión Interna. En 1894 la Universidad de Tulane pone en marcha su curriculum en Ingeniería Química, convirtiéndose en la tercera Universidad en dictar la carrera en los Estados Unidos de América. En 1895 Carl von Linde pone el broche de oro del siglo XIX, al presentar a la comunidad científica su proceso para la licuefacción de aire.

El primer evento en esta materia del que se tiene noticia fue el fracasado intento de George E. Davis de fundar una "Society of Chemical Engineers" en 1880, en Londres. El mismo G. E. Davis, en 1887, comenzó a dictar un curso de Ingeniería Química en su cátedra de la Manchester Technical School. Persistiendo en su esfuerzo, reunió el material de sus cursos y en 1901 publicó un libro en dos tomos titulado "A Handbook of Chemical Engineering". Mientras tanto, también aparecían en Estados Unidos las primeras manifestaciones de la Ingeniería Química. Fue en 1888 que se empezó a enseñar bajo forma de un curso que dictó Lewis M. Norton en el Massachusetts Institute of Technology (MIT). Poco después, ese curso fue modificado y expandido por William H. Walker y simultáneamente, cursos parecidos empezaron a ser dictados en otras universidades de los Estados Unidos, tales como Columbia, Michigan, Pennsylvania y otras.

La evolución de la ingeniería continuó su desarrollo hasta que en el año de 1908 se produjeron dos hechos interesantes que muestran la envergadura que ya empezaba a alcanzar la profesión.

El primero de estos eventos consistió en que la *American Chemical Society* organizó una división de químicos industriales e ingenieros químicos y autorizó la publicación del "*Journal of Industrial and Engineering Chemistry*", el segundo evento casi simultáneo al primero consistió en que un grupo de ingenieros químicos se reunió en Filadelfia para fundar el "*American Institute of Chemical Engineers*". A esta altura, parecería que la aparición de una revista especializada y la fundación de dos entidades profesionales estaban certificando, de alguna manera, el nacimiento de la ingeniería química. Pero todavía iban a ser necesarios algunos cambios y un poco más de tiempo para que la profesión alcanzara su verdadera identidad, que en definitiva, es lo que importa.

Hubo un periodo comprendido entre esta época y 1922 en el que la educación en ingeniería química era excesivamente descriptiva y carente de una mínima generalización, lo cual generó crecientes insatisfacciones. Comentando este tipo de

enseñanza, se dijo que aunque había un suficiente conocimiento de los principios de ingeniería civil y mecánica, química y física, no se reconocía la esencialidad de su combinación. Al parecer, lo que no se entendía era la necesidad de desarrollar nuevas generalizaciones, de integrarse conocimiento en nuevos principios que fueran específicos de la ingeniería química. Es interesante señalar que H. Le Chatelier en su libro "Ciencia e Industria" (1925) formula críticas similares a la enseñanza tecnológica superior en Francia aunque el concepto "ingeniería química" no figura para nada en dicho libro.

Un primer y fundamental intento reformista fue llevado a cabo por Arthur D. Little en 1915 cuando presentó al MIT su concepto de "operación unitaria", el cual en su parte medular decía lo siguiente⁸: "Cualquier proceso químico, cualquiera sea su escala, puede ser resuelto en una serie coordinada de lo que podría ser denominado acciones unitarias, tales como pulverización, mezclado, calentamiento, absorción, precipitación, cristalización, filtración y disolución". También decía que "La capacidad de satisfacer amplia y adecuadamente las demandas de la profesión puede ser alcanzada solamente a través del análisis de los procesos en acciones unitarias tal como ellas son realizadas en escala comercial bajo las condiciones impuestas por la práctica".

Este concepto, que de alguna manera estaba creando la epistemología de la ingeniería química, formaba parte de un informe que A. D. Little presentó en 1915 pero que recién fue aprobado en 1922. Para comprender mejor hasta qué punto se estaba planteando allí toda una definición de identidad, convendría agregar que también se decía que la ingeniería química era en sí misma, una rama de la ingeniería con una base distintiva propia: el concepto de operación unitaria.

La filosofía promulgada por Little fue predominante en la profesión por mucho tiempo y aún se mantiene hasta ahora como una condición prácticamente definitoria tanto de la ciencia como de su metodología. El propio Little habría de repetir mucho más tarde, en

⁸ Cfr. W. M. Pafko. *History of Chemical Engineering*. (Artículo disponible en línea en <http://www.pafko.com/history/>)

1930, que las operaciones unitarias eran, en esencia, de naturaleza física antes que química pero que estaban dirigidas, en última instancia, a un resultado químico. Agregaba que ellas eran, comparativamente, pocas en número pero las condiciones bajo las cuales podían ser conducidas eran de lo más variadas y estaban determinadas por la naturaleza de los materiales en tratamiento, el tamaño de la operación y las temperaturas, presiones y demás factores involucrados en el proceso.

Desarrollo durante el siglo XX

Durante el siglo XX los adelantos y descubrimientos se desarrollan cada vez con mayor relevancia y velocidad lo que hace difícil su análisis. Con el objeto de entregar una mejor visión sobre sus alcances, de aquí en adelante se entregará un detalle por áreas, a saber:⁹

- A) Aspectos relevantes para la disciplina
- B) Desarrollo histórico de productos y procesos
- C) Aspectos ambientales y de seguridad

A) ASPECTOS RELEVANTES EN EL SIGLO XX

1901 Georges Davis publica su Manual de ingeniería química.

1903 Arthur Noyes (MIT) establece el “*Research Lab of Physical Chemistry*”

1908 Se funda el Instituto Americano de Ingenieros Químicos (AIChE).

1910 Se produce por primera vez amoníaco sintético usando el proceso Haber en Ludwigshafen, Alemania.

1915 Arthur D. Little difunde el concepto de “Operaciones Unitarias”.

⁹ Cfr. W. M. Pafko. *History of Chemical Engineering*. (Artículo disponible en línea en <http://www.pafko.com/history/>)

1916 William H. Walker y Warren K. Lewis (profesores del MIT) establecen la “*School of Chemical Engineering Practice*”.

Por iniciativa de don Juan Salvador Agraz, a la mitad del movimiento revolucionario se crea la Escuela Nacional de Química Industrial (hoy Facultad de Química), que en febrero de 1917 se incorpora a la actual Universidad Nacional Autónoma de México.

1920 El Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT) crea un Departamento de ingeniería química independiente.

Ponchon y Savarit desarrollan y presentan el conocido diagrama de Entalpía-Concentración, usado para resolver cálculos de destilación.

1925 El AIChE comienza la acreditación de los Programas de ingeniería química.

McCabe y Thiele presentan un método gráfico para estimar el número de etapas teóricas requeridas en una columna de fraccionamiento para mezclas binarias.

El ingeniero Estanislao Ramírez, padre de la ingeniería química en México, después de realizar sus estudios en el Massachusetts Institute of Technology (donde aprendió la enseñanza de las Operaciones Unitarias de su creador, William H. Walker) funda la carrera de ingeniería química en la Universidad Nacional; fue el primer profesor y el formador de los primeros maestros de ingeniería química en México.

1930 Los profesores de Wisconsin, O. Hougen y K. Watson destacan la importancia de la Termodinámica en el proceso educativo de los ingenieros químicos.

Los profesores de la Universidad de Michigan Katz, Brown, White, Kurata, Standing y Sliepcevich establecen algunos conceptos básicos en equilibrio de fases, transferencia de calor, transferencia de momentum y transferencia de masa.

1930 Con los trabajos de Damkohler en Alemania, Van Heerden en Holanda, así como de Dawncckerts y Denbigh en Inglaterra, comienza el análisis sistemático de los reactores químicos. En ellos se explora la transferencia de masa, la variación de temperatura, los modelos de flujo y los estados estacionarios múltiples.

1934 Se edita la 1ª Edición del Perry, "*Chemical Engineer's Handbook*".

1938 - 1939 A raíz de la nacionalización del petróleo en México, las compañías extranjeras negaron la venta de tetraetilo de plomo (antidetonante de las gasolinas). Después de un primer intento fallido, los ingenieros químicos mexicanos lograron echar a andar una planta de tetraetilo de plomo que se instaló en el mismo lugar donde 27 años más tarde se crearía el Instituto Mexicano del Petróleo.

1945 Fundación de la carrera de ingeniería química Industrial impartida por el Instituto Politécnico Nacional.

1950's & 60's Los profesores de la Universidad de Wisconsin Bird, Steward y Lightfoot unifican los conceptos de transporte de masa, momentum y de energía publicando su texto "Transport Phenomena" el cual continúa siendo un clásico y un fenómeno en la educación de los ingenieros químicos.

- 1959 Comienza a ganar credibilidad el control de procesos químicos por computadora.
- 1966 Fundación del Instituto Mexicano del Petróleo.
- 1973 Stanley Cohen y Herbert Boyer realizan su primer experimento en ingeniería genética.
- Embargo árabe de petróleo.
- 1979 Se obtiene el primer gran éxito de la ingeniería genética al sintetizar insulina humana.
- 1981 Aparecen los paquetes computacionales para la simulación de procesos químicos en computadora. Pronto aparecen programas tales como: *DESIGN II, ASPEN, SIMSCI (PRO II), HYSIM, CHEMCAD* etc.
- 1986 K. Alex Muller y George J. Dedworz descubren un superconductor que opera a una temperatura de 30 K.
- 1988 La Academia Nacional de Ingeniería de los Estados Unidos de América publica "*Frontiers of Chemical Engineering*" (Amundson Report).
- 1994 Se funda en los Estados Unidos de América la organización "*Advocates for Women in Science, Engineering and Mathematics*" en pro de la participación y desarrollo de la mujer en dichas áreas.
- 1995 La compañía americana Dow se hace con el control de tres de las más importantes compañías de la industria química en la antigua Alemania Oriental.

- 1996 La compañía Monsanto destina formalmente a su filial *Solutia* lo relativo a investigaciones y desarrollos en ciencias bioquímicas y genéticas.
- 1998 Fusión de las compañías americanas Mobil y Exxon.
- 1999 Fusión de las compañías americanas Dow y Union Carbide.
- 2001 Se completa el Proyecto Genoma Humano, una colaboración sin precedentes entre diferentes sectores dedicados a la investigación y el desarrollo científico y tecnológico.

B) SIGLO XX. NUEVOS PRODUCTOS Y PROCESOS.

- 1900 Se desarrollan los primeros métodos de contacto para la producción de ácido sulfúrico.
- 1901 Comienzan las perforaciones de pozos petrolíferos en Persia.
- 1908 Descubrimiento del Celofan (Jacques Brandberger, Suiza).

El Dr. Leo Baekeland descubre la baquelita.

- 1910 Comienza la producción de baquelita

Se produce por primera vez amoníaco sintético a escala industrial mediante el proceso Haber en Alemania.

Se construye en los Estados Unidos la *American Viscose Company*, la primera planta de rayón.

1913 La *Standard Oil Co.* comienza con el cracking térmico de petróleo en los Estados Unidos de América.

1915 La compañía estadounidense *Corning Glass* comienza a comercializar el Pirex.

1917 La compañía *Chemical Construction Co.* construye una planta de gran capacidad para producir ácido nítrico a partir de amoníaco.

1918 Fritz Haber recibe el Premio Nobel por su trabajo en la síntesis de amoníaco.

1920's Durante esta década se logra producir en grandes cantidades productos tales como: acetato de celulosa, acrílicos (Lucita y Plexiglass) y polietileno.

Se produce el primer producto petroquímico comercial, alcohol isopropílico, en la planta que la *Standard Oil Co.* tenía en New Jersey.

1922 Thomas Midgley usa tetraetilo de plomo como aditivo antidetonante en gasolinas.

1925 Se comienzan a usar antioxidantes para el caucho.

1926 *Du pont* y *Comercial Solvents Co.* inician la producción de metanol sintético en los Estados Unidos de América.

1931 Du Pont comienza la producción de Neopreno.

1933 *Imperial Chemical Industries* en Inglaterra, descubre el polietileno.

Du Pont comienza la producción de neumáticos con cuerdas de rayón.

1935 Wallace Hume Carothers descubre el nylon.

1936 *Rohm & Haas* comienza a comercializar los plásticos de metil metacrilato (PMMA).

Se utiliza por primera vez el Proceso Houdry en el cracking catalítico del petróleo.

1937 *Dow Chemical* comienza a comercializar poliestireno.

1939 El nylon se comienza a usar en el vestuario femenino.

1940's En esta década se desarrollan el polietileno (aislantes eléctricos y empaques alimenticios), la silicona (lubricantes, recubrimientos y aislantes eléctricos de alta temperatura) y los epóxidos (adhesivos).

1940 La *Standard Oil Co.* desarrolla la reformación catalítica para producir gasolina de mayor octanaje .

Se produce en los Estados Unidos de América el primer neumático a partir de polímeros sintéticos.

1941 Por primera vez se produce goma de estireno-butadieno en los Estados Unidos de América.

1942 Se introducen al mercado las resinas de poliéster.

1943 Se produce DDT en los Estados Unidos de América.

1944 *Du Pont* comercializa el Teflón (resina de tetrafluoretileno).

1947 Se obtienen hidrocarburos, usando gas de síntesis, por el proceso de Fisher-Tropsh.

Se perfora el primer pozo petrolero “off shore” (submarino).

1950 Se produce benceno a partir del petróleo.

1952 *Du pont* comercializa el “film” de poliéster Mylar.

1953 La producción de detergentes sintéticos excede la producción de jabón en los Estados Unidos de América.

1954 Se desarrolla el polisopreno.

1957 *General Electric* desarrolla el policarbonato.

1959 *Air Products Co.* construye una planta de Hidrógeno de gran capacidad para producir combustible para cohetes en los Estados Unidos de América.

1965 Se consolidan fuertemente en el mercado los productos de PVC.

1968 El consumo de fibras artificiales en Estados Unidos de América excede el de las naturales.

1975 Se introduce el uso de los convertidores catalíticos en los autos.

Se desarrolla la fibra óptica.

Los envases de polietilentereftalato (PET) rápidamente remplazan a los envases de vidrio.

McDonald's comienza a utilizar poliestireno para envases de sus hamburguesas.

1979 Se sintetiza insulina.

1982 Genetistas de Monsanto logran con éxito la primera modificación en una célula vegetal.

1985 El gobierno de los Estados Unidos de América, debido a los bajos precios del petróleo, cancela el “*Synfuels Project*” que tenía como objeto desarrollar fuentes alternativas de energía basadas principalmente en carbón y esquistos bituminosos.

1986 Descubrimiento de los superconductores (A. Muller y G. Dedworz).

1988 McDonald deja de usar sus “clamshells” para envasar sus hamburguesas por temor a los CFC’s usados en la manufactura del Poliestireno.

1996 La Plataforma marina Troll comienza a sacar gas natural de la costa noruega. Con una altura de 369 m, la mayor parte sumergida, y 656 mil toneladas es una de las estructuras más grandes del mundo.

C) SIGLO XX. ASPECTOS AMBIENTALES Y DE SEGURIDAD.

1900 El automóvil es bienvenido como un elemento que ayudará a disminuir la contaminación. La ciudad de Nueva York, con más de 120 mil caballos, genera más de 2.4 millones de libras de guano por día.

1908 Se inicia en New Jersey la cloración del agua potable.

Svante Arrhenius argumenta que el efecto invernadero, causado por el uso del carbón y del petróleo, está calentando la atmósfera.

1921 Explotan, en una Planta Química en Oppau-Alemania, 4.5 toneladas de NH_4NO_3 y $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. La explosión y posterior incendio causa la muerte de 600 personas, 1500 quedan heridas y 7000 sin hogar.

1922 Thomas Midley introduce el uso de tetraetilo de plomo como aditivo en las gasolinas.

1943 Comienza la producción de DDT.

1947 La barcaza, "*Grandcamp*", cargada con Nitrato de Amonio, grado fertilizante, se incendia y explota destruyendo una ciudad cercana y matando a 576 personas en lo que se conoce como el "desastre de Texas City".

1948 Se estaciona una nube mortal (smog) sobre el pequeño poblado minero de Donora en Pensylvania. El aire contaminado mata 19 personas y miles se enferman.

1952 4000 personas mueren en Londres a causa del smog.

1955 Se funda la Academia Americana de Ingenieros Ambientales en los Estados Unidos de América.

1962 El smog en Londres provoca la muerte de 1000 personas.

Rachel Carson, en su libro "*Sylent Spring*", presenta una emocional plegaria por la protección, de la salud humana y el medio ambiente, de los pesticidas químicos.

- 1963 Duphar, India. Escape de 200 gramos de TCDD (tetraclorodibenzoparadioxina, la dioxina más tóxica conocida) obliga al desarme, encapsulamiento en concreto y confinamiento en el mar de la planta.
- 1965 Los envases de PVC comienzan a ganar mercado.
- 1966 La “*Rule 66*” de la ciudad de Los Angeles, California, es el primer intento, en los Estados Unidos de América, para controlar las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV).
- 1970 En los Estados Unidos de América se crea la EPA (*Environmental Protection Agency*), con un presupuesto anual de 1300 millones de dolares y 6000 empleados.
- El Congreso de los Estados Unidos de América aprueba la “*Clean Air Act*” en la cual se establecen los estándares de calidad de aire a nivel nacional.
- 1972 Para afrontar la contaminación de las aguas se aprueba la “*Clean Water Act*”.
- 1974 Una explosión de vapores de ciclohexano en Flixborough, Inglaterra, causada por la ruptura de una tubería, provoca la muerte de 28 trabajadores. Esto impulsó a los legisladores británicos para normar que se realizaran estudios de riesgos en las plantas químicas británicas.
- 1975 Se introduce el uso de convertidores catalíticos en los autos para cumplir con las normas de emisión establecidas en los Estados Unidos de América.
- 1976 La cadena de comida rápida *McDonald’s* comienza a usar envases de poliestireno para sus hamburguesas.

El Congreso de los Estados Unidos de América aprueba la “*Toxic Substances Act*” para la regulación de compuestos químicos tóxicos.

La Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos de América reporta que los compuestos clorofluorocarbonados (CFC) pueden afectar a la Capa de Ozono.

1978 Se prohíbe el uso como propelente de los CFC (particularmente freones) en los Estados Unidos de América, por temor a su efecto en la Capa de Ozono.

El gobierno de los Estados Unidos de América comienza a limitar la cantidad de plomo permitido en las gasolinas. Esta acción se toma para prevenir el deterioro de los catalizadores en los convertidores catalíticos y no para proteger la salud pública.

1980 El gobierno de los Estados Unidos de América prohíbe la venta de pinturas basadas en plomo.

Se crea en los Estados Unidos el “*Superfund*” (USD \$ 1600 millones), para que la EPA lo utilice para la limpieza de lugares contaminados.

1984 Un escape accidental de gases tóxicos en una planta de *Union Carbide* en Bhopal, India, provoca más de 2000 muertes y más de 10000 heridos.

1985 El AICHE inaugura el Centro de Seguridad para Procesos Químicos.

1986 Explota el Reactor #4 de la Planta Nuclear de Chernobyl, liberando grandes cantidades de radiación cerca de Kiev, URSS.

1988 La explosión de una Plataforma Petrolera en el Mar del Norte impulsa a Inglaterra a introducir las evaluaciones de riesgos en la industria del petróleo.

La cadena McDonald's deja de usar los envases de hamburguesas "clamshell" por temor a los CFC's utilizados en la producción de poliestireno.

1989 El barco Petrolero Valdez, de la Exxon, se parte a la mitad liberando grandes cantidades de petróleo al mar frente a las costas de Alaska.

Procter & Gamble introduce la primera botella de PET 100% reciclado.

1990 Se reforma la "*Clean Air Act*".

Se aprueba la "*Pollution Prevention Act*".

2. La ingeniería química como una disciplina formal

En el siglo XIX se genera un importantísimo desarrollo en las disciplinas básicas de las ciencias de la ingeniería química, lo que impulsará que a fines de siglo aparezcan los primeros programas formales en la enseñanza de la ingeniería química. Desde esta perspectiva, los mayores hitos en este siglo están representados por una parte en la publicación en el año 1824 del texto *Reflexions sur la Puissance Motrice du Feu* de Sadi Carnot, en el cual se establece varios destacados principios que constituyen las bases de la actual Termodinámica.

En 1887 en la Manchester Technical School (ahora la UMIST), George E. Davis identificó las características generales comunes a todas las fábricas de productos químicos y escribió el primer manual influyente de ingeniería química: "A Handbook of Chemical Engineering". Su introducción a este libro predecía muchos de los aspectos predominantes en la ingeniería química el día de hoy – La optimización de procesos,

seguridad industrial, conocimiento técnico riguroso y comentarios prácticos provenientes de la experiencia:

...Los Químicos, es verdad, poseen un conocimiento más grande (por lo menos más que antes) de los métodos de sustitución, aislamiento y recombinación de muchos y muy variados radicales orgánicos, y debemos mucho de nuestra prosperidad presente a sus investigaciones; pero los progresos más grandes han sido formulados dentro del funcionamiento de una planta química en la medida en que las operaciones que implican se han llevado a cabo a grandes escalas. Aunque las operaciones químicas son ahora mucho más complejas de lo que eran hace un cuarto de siglo atrás, se llevan a cabo a menor costo, más eficientes y con mayor seguridad para quienes las llevan a cabo y por lo menos la mitad de estas mejoras se deben atribuir a los Ingenieros Químicos.

Por supuesto que la “experiencia práctica” es un excelente maestro cuando el aprendiz es un alumno aventajado, pero la experiencia práctica que no se combina con un conocimiento científico resulta un respaldo pobre sobre el cual descansar, el cual se verá descartado rápidamente.¹⁰

El Instituto Tecnológico de Massachusetts fue la primera institución en introducir un currículo en ingeniería química en 1888, cuando ofrecieron por primera vez el *Course X* – un programa de cuatro años en ingeniería química – dictado por el profesor de química orgánica e industrial Lewis M. Norton. Otros programas en ingeniería química fueron introducidos en otras universidades años después, particularmente en la Universidad de Pennsylvania en 1892, en la Universidad de Tulane en 1894, y en el año

¹⁰ Cfr. I. Kim, *An Evolution in Chemical Engineering: The Journey Ahead: The past as evolution in Chemical Engineering*, Chemical Engineering Progress, January 2002 Vol. 98, No. 1

de 1898 en la Universidad de Michigan y en la Universidad de Tufts. El profesor de ingeniería química y cronista de la Universidad de Purdue, Nicholas Peppas, señala la existencia de una escuela independiente de ingeniería química en la Academia Industrial y Comercial de Atenas, Grecia en el año de 1894.

Durante los primeros años del siglo XX, una vez establecido el concepto de las operaciones unitarias por los trabajos de Arthur D. Little y sus colaboradores, muchos hombres jóvenes que experimentaban un mercado laboral ajustado tras la Primera Guerra Mundial acudieron a las escuelas de ingeniería¹¹, particularmente atraídos por la ingeniería química (informes de la Universidad de Michigan indican que en 1920 más de cien estudiantes de segundo año elegían a la ingeniería química como su área de especialización). Se había creado conciencia sobre un tema nuevo y fascinante con un futuro prometedor.

Conforme transcurrieron los años, los profesores fueron enriqueciendo sus enseñanzas mediante nuevas investigaciones y descubrimientos en áreas relacionadas con el petróleo, la industria del metal y de los productos orgánicos entre otras.

Para mediados de la década de 1960, algunos nuevos campos como la bioquímica y la electrónica comenzaron a aparecer; y no fue sino hasta la siguiente década cuando la ingeniería química empezó a ser reconocida como una disciplina universal de la ingeniería además de gozar de mayor reconocimiento por parte de la comunidad científica, mérito ampliamente acreditable al desarrollo y enseñanza de los fenómenos de transporte.

¹¹ Cfr. I. Kim, *An Evolution in Chemical Engineering: The Journey Ahead: The past as evolution in Chemical Engineering*, Chemical Engineering Progress, January 2002 Vol. 98, No. 1

CAPÍTULO II

PRIMER PARADIGMA DE LA INGENIERÍA QUÍMICA: LAS OPERACIONES UNITARIAS

En la actualidad la ingeniería química se encuentra en una situación paradójica.

Por un lado se encuentra en medio de muchas tecnologías efectivas para atender necesidades sociales y requerimientos económicos de tipo global, tales como ahorro de energía y de materias primas, protección ambiental, salubridad, suministro de alimentos y elaboración de nuevos productos para una mejor calidad de vida.

Por otro lado, las industrias de procesos aún tienen una mala imagen entre la comunidad, la cual considera a éstas como responsables de la contaminación de nuestros alimentos y del medio ambiente, mientras las personas jóvenes y los estudiantes están menos atraídos por una profesión donde el empleo está en decadencia, debido principalmente al progreso de la Química misma, la cual ha inducido ganancias considerables en productividad.

¿Cómo se puede resolver esta paradoja? ¿Existen solamente nubes oscuras en el horizonte?

En tiempos antiguos, los procesos tecnológicos fueron específicos para cada negocio y para cada sector de actividad. Los primeros textos que describen procesos técnicos en un camino genérico aparecen en el siglo XVI. Jerónimo Braunschweig publicó sobre destilación en Strasburgo en 1512. Algún tiempo después, en 1556 en Basle, Georg Bauer publicó su famoso trabajo "*De Re Metalica*" donde se describen operaciones unitarias para el procesamiento del oro y la preparación de metales¹².

¹² Cfr. Villermaux, J., *New Horizons in Chemical Engineering*, the 5th World Congress of Chemical Engineering: Technologies Critical to Chsnging World, Summary Proceedings, July 14 – 18.

George E. Davis dictó su primer curso de ingeniería química en Manchester, Inglaterra en 1887 y un año después, en 1888 Lewis Mills Norton estableció su famoso curso sobre "*Chemical Engineering*" en el MIT, mientras en Alemania Fritz Haber se hizo famoso con los principios de la síntesis industrial del Amoniacó en 1906. Pero el principal adelanto proviene de Artur D. Litte en 1915 con el concepto de operaciones unitarias, el cual se puede aplicar a muchos procesos industriales independientemente de cual sea el producto a elaborar.

Los franceses anotan que Lavoisier ya había anticipado el concepto de operaciones unitarias en una carta profética a la Convención Nacional de la Revolución Francesa en 1793. Actualmente se considera el concepto de Operaciones Unitarias como el primer paradigma de la ingeniería química.

La tesis central de Davis consistía en la idea de que diversos procesos industriales contenían un hilo común: un número relativamente pequeño de distintas operaciones, como la evaporación, la separación y el mezclado. El tema de las "operaciones unitarias" se encontraba implícito desde los más tempranos días de la ingeniería química, a pesar de que su nomenclatura no apareció sino hasta 1915, cuando Arthur D. Little reiteró la idea en una carta dirigida al presidente de su alma mater, el MIT¹³:

... "cualquier proceso químico, en cualquier escala, puede ser resuelto en una serie coordinada de las que pueden ser llamadas Operaciones Unitarias, tales como la pulverización, tintura, tostado, cristalización, filtrado, evaporación, electrolización y demás. El número de estas operaciones básicas no es muy largo y relativamente pocas están involucradas en algún proceso en particular. La complejidad de los resultados de la ingeniería química se deben a la variedad de condiciones de operación, como la temperatura, presión, etc., bajo las cuales se deben desarrollar las operaciones unitarias de diversos

¹³ Cfr. I. Kim, *An Evolution in Chemical Engineering: The Journey Ahead: The past as evolution in Chemical Engineering*, Chemical Engineering Progress, January 2002 Vol. 98, No. 1

procesos y de las limitaciones en cuanto a materiales de construcción y diseño de los equipos requeridos impuestas por las características físicas y químicas de las sustancias que reaccionan.”

A muchas escuelas les tomaría un tiempo establecer un departamento independiente de ingeniería química, ejemplo de esto es el MIT, donde se logró hasta 1920 con ayuda de la aceptación del concepto de las operaciones unitarias. En 1923 un libro de texto histórico que lograría cuantificar y estandarizar las operaciones unitarias –Principios de Ingeniería Química – fue publicado por Lewis y sus colegas del MIT William H. Walker y William H. McAdams. En combinación con la importancia de las operaciones unitarias señalada por A.D. Little, este libro contribuyó sustancialmente a transformar la concepción de la ingeniería química del ámbito de lo descriptivo para pasar a un dominio de carácter técnico y empírico.

La filosofía promulgada por A.D. Little fue predominante en la profesión por mucho tiempo y, básicamente, se mantiene hasta ahora como una condición prácticamente definitoria tanto de la ciencia como de su metodología. El propio A.D. Little habría de repetir mucho más tarde, en 1930, que las operaciones unitarias eran, en esencia, de naturaleza física antes que química pero que estaban dirigidas, en última instancia, a un resultado químico. Agregaba que ellas eran, comparativamente, pocas en número pero las condiciones bajo las cuales podían ser conducidas eran de lo más variadas y estaban determinadas por la naturaleza de los materiales en tratamiento, el tamaño de la operación y las temperaturas, presiones y demás factores involucrados en el proceso.

La asociación de la ingeniería química al concepto de operación unitaria prevaleció durante muchos años pero, naturalmente, en el marco de la evolución sostenida de una profesión que consolidaba su perfil propio y se diferenciaba cada vez más de la química y de las otras ingenierías. Su expansión se percibe con claridad en la definición de ingeniería química que, en 1954, publicó el *American Institute of Chemical Engineers* la cual dice que consiste en la aplicación de los principios de las ciencias

físicas junto con los principios de economía y relaciones humanas a los campos que se relacionan directamente con los procesos y los equipos de los procesos en los cuales la materia es tratada a los efectos de un cambio en su estado, contenido energético o composición.

Los años subsiguientes mostraron que la aceptación de la propuesta se iba generalizando al mismo tiempo que los métodos de estudio y de trabajo de la ingeniería química se iban enriqueciendo con nuevas herramientas, las que abrían interesantes campos de acción tanto en un sentido horizontal como vertical. La intención unificadora que concibió la operación unitaria se extendió a otra unidad operativa vinculada a la reacción química que se llamo' "proceso unitario". Ejemplos clásicos de estos procesos fueron: hidrogenación, nitración, oxidación, halogenación, neutralización, sulfonación, etc. Los años que habrían de transcurrir mostraron que esta expansión era más ingeniosa que práctica y que la generalización de la reacción química era más compleja y, seguramente, tenía que transitar por otros caminos. El concepto, en definitiva, tuvo y tiene su vigencia, pero su contribución al cuerpo de doctrina de la ingeniería química no tuvo la condición definitoria que ostenta la operación unitaria.¹⁴

¹⁴ M. Zunino, *Ingeniería Química: Notas Sobre su Origen y Evolución*, Asociación de Ingenieros Químicos del Uruguay. (Artículo disponible en línea en <http://www.aiqu.org.uy/historia/Evolucion.htm>)

CAPITULO III

SEGUNDO PARADIGMA DE INGENIERÍA QUÍMICA: FENÓMENOS DE TRANSPORTE

Una vez asimilada la idea de que mostrar las cosas no era suficiente sino que lo que importaba era comprenderlas, sobrevino una evolución que aportó, nuevas herramientas al estudio de los fundamentos de unidades operativas. Sería imposible mencionar todos los ejemplos que se podrían poner al respecto. Basta con mencionar algunos tales como análisis dimensional, balances de materia y energía, análisis económico, tratamiento del régimen transitorio, equilibrios de fase multicomponente y cinética química, entre otros.

La mentalidad fundamentalizadora inherente al ingeniero químico pronto iba a llevarlo a advertir que entre ciertas operaciones unitarias había importantes similitudes y que el estudio de las mismas podría resumirse en tres operaciones de cambio o, dicho de otra manera, que la fenomenología de la ingeniería química estaba gobernada por los llamados fenómenos de transporte y que la masa, el calor y la cantidad de movimiento se transfieren impulsados por un potencial, venciendo una resistencia y determinando así un cierto flujo de transferencia. Tales ideas comenzaron a tomar cuerpo a fines de la década del cincuenta y se concretaron formalmente con la aparición de un libro de especial importancia: "Transport Phenomena"(1960) de A. B. Bird, W. E. Stewart y E. N. Lightfoot¹⁵. Su libro fue reconocido en su publicación como un gran avance en la presentación de la ciencia de la ingeniería de la que se desarrolla la ingeniería química.

La perspectiva de los años transcurridos y la aceptación lograda por la propuesta, permiten formular algunos comentarios al respecto. En primer lugar, cabe decir que, más allá del mero reduccionismo especulativo que pudo atribuirse en un principio al concepto de fenómenos de transporte, el objetivo de lograr; conocimientos que fueran cada vez más básicos, fue alcanzado plenamente. En segundo lugar, y como

¹⁵ Bird, R.B.; Stewart, W.E.; Lightfoot, E.N. "Fenómenos de Transporte", Editorial Reverté. Barcelona, España, 1964

consecuencia de lo anterior, la concepción de los fenómenos de transporte y su inserción en la enseñanza de la ingeniería química, contribuyeron a ensanchar y consolidar su cuerpo de doctrina al tiempo que generaron elementos suficientes como para pensar ya en una ciencia de la ingeniería química definitivamente consolidada. Se podría hacer una buena cantidad de comentarios acerca de este tema pero tal vez esto resultaría alejando del espíritu de síntesis que se persigue. No obstante, sería bueno recordar que el refinamiento conceptual así introducido no logró superar todos los aspectos experimentales de esta ciencia, un buen ejemplo sería la permanente necesidad de la verificación práctica de los coeficientes de transferencia. En otro sentido, no todas las operaciones de cambio revisten la misma importancia para el ingeniero químico; resulta claro que la transferencia de masa, por efecto de la naturaleza misma de las operaciones unitarias y de su objetivo último de transformación positiva de los materiales, habría de ser el fenómeno de transporte de mayor incidencia en la ingeniería química como el Prof. Thomas K. Sherwood así lo reconoció en su reseña de "Fenómenos de Transporte", en 1961 moderando su alabanza con precaución. En primer lugar, advirtió que en el libro se le da al estudiante la impresión de que todos los problemas de la ingeniería química son resolubles analíticamente. Y en segundo lugar, sólo aquellos estudiantes con una formación matemática suficiente pueden reconocer la razón y el objetivo que subyace al texto, es decir, que el momentum, el calor y el transporte de masa son uno, la misma fenomenología.¹⁶

Sin embargo, las cuestiones planteadas por el profesor Sherwood se han afrontado con éxito en la "Introducción a los Fenómenos de Transporte", por el profesor W. Thomson. En primer lugar, Thomson dice claramente que no todos los problemas de ingeniería química son resolubles analíticamente. Por ello, aborda la idea de los coeficientes de transferencia adoptando así un concepto más amplio del presentado por A. B. Bird, W. E. Stewart y E. N. Lightfoot. En el libro de texto de Thomson, el estudiante puede ver la

¹⁶ Cfr. Worstell, J.H., *Fluids Mechanics*, Chemical Engineering Progress. Nueva York, diciembre 2001. Tomo 97, Nº 12; pg. 78.

ciencia de la ingeniería en el corazón de la ingeniería química, sin necesidad de una licencia en matemáticas aplicadas.¹⁷

La ingeniería química ganó respetabilidad científica y el ingeniero químico se vuelve capaz de entender, analizar y explicar el comportamiento detallado de los procesos, abriendo el camino a la modelación matemática. Esta revolución científica dio una base sólida para el desarrollo de la ingeniería de las reacciones químicas, ingeniería bioquímica y la ciencia de las separaciones de los años 70's.

El acercamiento de Bird, Steward y Lightfoot, el cual aún inspira nuestro curriculum produjo generaciones de ingenieros con actitud de pensamiento analítico. Esto es excelente para analizar procesos existentes, para mejorar su funcionamiento y para escalar desde el laboratorio a escala industrial, utilizando modelos matemáticos. Pero esta vía no favorece la creatividad, la invención de nuevos procesos o el diseño y construcción de nuevos productos para encontrar las necesidades expresadas por el mercado.¹⁸

Ahora se deben proponer y discutir brevemente algunas ideas para una búsqueda futura, la cual puede conducir a la dirección correcta.

Cuando se dice "búsqueda", no se está hablando acerca de la búsqueda aplicada partiendo directamente de necesidades sociales e industriales para diseñar procesos limpios en primera instancia. En lugar de esto, se debe tratar de descubrir conceptos básicos que puedan ser la clave para aplicaciones exitosas en el futuro.

Desde los años sesenta, y hasta ahora, la ingeniería química no dejó de evolucionar y, sobre todo, de acusar una lógica y profunda sensibilidad a los rápidos cambios que se producían en su entorno con los que se generaba una fuerte interacción. La

¹⁷ Cfr. Worstell, J.H., *Fluids Mechanics*, Chemical Engineering Progress. Nueva York, diciembre 2001. Tomo 97, N° 12; pg. 78.

¹⁸ Cfr. Villermaux, J., *New Horizons in Chemical Engineering*, the 5th World Congress of Chemical Engineering: Technologies Critical to Changing World, Summary Proceedings, July 14 - 18, pp 16, 23.

computación gravitó en múltiples aspectos del ejercicio profesional en la medida en que se abrieron nuevos horizontes al cálculo teórico y facilitó la automatización, programación y control de las operaciones unitarias así como de los procesos de fabricación. Los nuevos materiales de construcción ensancharon los parámetros de funcionamiento y crearon grandes posibilidades para el diseño de equipos superando barreras de resistencia física y química. Hubo también circunstancias que enfrentaron al ingeniero químico con nuevos problemas en relación con la calidad de los productos finales y con la economía de los procesos. Pero estos cambios que han sido citados y otros que no se mencionan fueron sólo cuantitativos y no modificaron sustancialmente el perfil del ingeniero químico. El cambio cualitativo vino provocado por el súbito desarrollo de una tecnología, vieja como arte y nueva como ciencia, que está concitando la mayor atención.¹⁹

¹⁹ Cfr. M. Zunino, *Ingeniería Química: Notas Sobre su Origen y Evolución*, Asociación de Ingenieros Químicos del Uruguay. (Artículo disponible en línea en <http://www.aiqu.org.uy/historia/Evolucion.htm>)

CAPÍTULO IV

PRINCIPALES LOGROS DE LA INGENIERÍA QUÍMICA CONSOLIDADOS DURANTE EL SIGLO XX

El AIChE, American Institute of Chemical Engineers ha resumido en una lista 10 grandes logros de la ingeniería química²⁰:

- 1.- Aportes en lo referente a la ruptura del átomo y al aislamiento de los isótopos.
- 2.- Revolución de la química polimérica, dando lugar a la "Era de los plásticos".
- 3.- Colaboración con la medicina. Los ingenieros químicos estudian los procesos químicos dividiéndolos en operaciones unitarias, como intercambiadores de calor, filtros, reactores químicos, entre otros. Los resultados de estos análisis han sido de gran ayuda para el estudio y la interpretación médica del cuerpo humano.
- 4.- Creatividad industrial a través de la mutación y alteración de antibióticos, multiplicando su efecto, aumentando su producción y disminuyendo su precio.
- 5.- Generación de fibras sintéticas, como alternativas a las naturales reduciendo así su consumo excesivo.
- 6.- Obtención de nitrógeno y oxígeno a partir de una materia prima tan abundante como el aire.
- 7.- Respuestas económicas y limpias a la gestión de los residuos del pasado y prevención de los futuros.

²⁰ Cfr. Fernández M.N., *Logros de la Ingeniería Química*, El Coaxial. Periódico de difusión universitaria del CPS. 1999

8.- Producción de fertilizantes químicos para la nutrición de las plantas y, por tanto cubrir nuestras necesidades alimenticias. Otros aportes en el procesamiento de alimentos.

9.- Desarrollo de procesos como el “cracking” catalítico, para la obtención de productos derivados del petróleo: gasolina, lubricantes y plásticos.

10.- Desarrollo de la industria de la goma sintética, muy importante durante la Segunda Guerra Mundial.

De entre los distintos campos de la ingeniería, los ingenieros químicos forman el grupo menos numeroso. Aún así, ocupan generalmente importantes puestos en grandes compañías como 3M, Du Pont, Union Carbide, Dow Chemical, Exxon, BASF, Gulf Oil, Texaco, B.F. Goodrich, entre otros.

Normalmente los ingenieros químicos se ocupan de procesos que van a transformar materias primas en productos valiosos. Para ello tienen que poner todo su esfuerzo y habilidad en el diseño, pruebas, cambios de escala, operaciones, control y optimización y necesitan una comprensión detallada de las operaciones unitarias, como destilación, mezclas y procesos biológicos, que hacen posibles estas transformaciones.

Principalmente y resumiendo, la ciencia del ingeniero químico utiliza los conceptos de transferencia de masa, momentum y energía, junto con la termodinámica y la cinética química para analizar y mejorar estas operaciones unitarias.

Algunas cifras²¹ de los Estados Unidos de América a finales de la década de los 90's indican alrededor de setenta mil ingenieros químicos trabajando como tales, de los cuales cincuenta y siete mil pertenecen al AIChE. A lo largo de toda la historia de la profesión ha habido en los Estados Unidos de América alrededor de ciento treinta y cinco mil ingenieros químicos, contando con los actuales.

²¹ Cfr. Fernández M.N., *Logros de la Ingeniería Química*, El Coaxial. Periódico de difusión universitaria del CPS. 1999

Enumerar todas las aportaciones de esta disciplina representaría una labor muy ambiciosa y una tarea inalcanzable por lo que a continuación se presentarán algunos de los casos más representativos dentro del marco de los logros de la ingeniería química.

1. El desarrollo de la Petroquímica.

El petróleo se conoce desde la prehistoria. La Biblia lo menciona como betún, o como asfalto. Por ejemplo en el Génesis, capítulo 11 versículo 3, se dice que el asfalto se usó para pegar los ladrillos de la torre de Babel; asimismo en el Génesis, capítulo 4 versículo 10, nos describe cómo los reyes de Sodoma y Gomorra fueron derrotados al caer en pozos de asfalto en el valle de Siddim.

Sin embargo, antes de la segunda mitad del siglo XVIII las aplicaciones que se le daban al petróleo eran muy pocas y no fue sino hasta el año de 1859 cuando el coronel Edwin L. Drake perforó el primer pozo petrolero del mundo²², en los Estados Unidos de América, logrando extraer petróleo de una profundidad de 21 metros.

También fue Drake quien ayudó a crear un mercado para el petróleo al lograr separar la kerosina del mismo. Este producto sustituyó al aceite de ballena empleado en aquella época como combustible en las lámparas, cuyo consumo estaba provocando la desaparición de estos animales.

Pero no fue sino hasta 1895, con la aparición de los primeros automóviles, que se necesitó la gasolina, ese nuevo combustible que en los años posteriores se consumiría en grandes cantidades. En vísperas de la primera Guerra Mundial, antes de 1914, ya existían en el mundo más de un millón de vehículos que usaban gasolina.

En efecto, la verdadera proliferación de automóviles se inició cuando Henry Ford lanzó en 1922 su famoso modelo "T". Ese año había 18 millones de automóviles; para 1938

²² Cfr. Pangtay C.S., *Petroquímica y Sociedad*, Fondo de Cultura Económica, Primera edición, México, 1987

el número subió a 40 millones, en 1956 a 100 millones, y a más de 170 millones para 1964. Actualmente es muy difícil estimar con exactitud cuántos cientos de millones de vehículos de gasolina existen en el mundo.

Lógicamente el consumo de petróleo crudo para satisfacer la demanda de gasolina ha crecido en la misma proporción. Se dice que en la década de 1957 a 1966 se usó casi la misma cantidad de petróleo que en los 100 años anteriores²³. Estas estimaciones también toman en cuenta el gasto de los aviones con motores de pistón.

Posteriormente se desarrollaron los motores de turbina (jets) empleados hoy en los aviones comerciales, civiles y militares. Estos motores usan el mismo combustible de las lámparas del siglo pasado, pero con bajo contenido de azufre y baja temperatura de congelación, que se llama turbosina.

Desde luego, cuando se introdujeron los aviones de turbina, el uso de la kerosina como combustible de lámparas era casi nulo, debido al descubrimiento de la electricidad, de tal manera que en 1964 cerca del 80% del consumo total de ésta era para hacer turbosina.

Otra fracción del petróleo crudo que sirve como energético es la de los gasóleos, que antes de 1910 formaba parte de los aceites pesados que constituían los desperdicios de las refinerías²⁴. El consumo de los gasóleos como combustible se inició en 1910²⁵ cuando el almirante Fisher de la flota británica ordenó que se sustituyera el carbón por el gasóleo en todos sus barcos. El mejor argumento para tomar tal decisión lo constituyó la superioridad calorífica de éste con relación al carbón mineral, ya que el

²³ Cfr. Anderson, E. V., *Optimism returns to Mexico's petrochemical industry*, Chemical Engineering News, 7 de noviembre de 1986, p. 14.

²⁴ Cfr. Hatch, L. F. y Sami Matar, *From hydrocarbons to petrochemicals*, Hydrocarbon Processing, agosto de 1978, p. 153.

²⁵ Cfr. Pangtay C.S., *Petroquímica y Sociedad*, Fondo de Cultura Económica, Primera edición, México, 1987

gasóleo genera aproximadamente 10 500 calorías/kg., mientras que un buen carbón sólo proporciona 7 000 calorías/kg.

Más tarde se extendió el uso de este energético en la marina mercante, en los generadores de vapor, en los hornos industriales y en la calefacción casera.

El empleo del gasóleo se extendió rápidamente a los motores diesel. A pesar de que Rudolph Diesel inventó el motor que lleva su nombre, poco después de que se desarrolló el motor de combustión interna, su aplicación no tuvo gran éxito pues estaba diseñado originalmente para trabajar con carbón pulverizado.

Cuando al fin se logró separar la fracción ligera de los gasóleos, a la que se le llamó diesel, el motor de Rudolph Diesel empezó a encontrar un amplio desarrollo.

La principal ventaja de los motores diesel en relación a los motores de combustión interna estriba en el hecho de que son más eficientes, ya que producen más trabajo mecánico por cada litro de combustible. Es de todos conocido que nuestros automóviles sólo aprovechan del 22 al 24% de la energía consumida, mientras que en los motores diesel este aprovechamiento es del 35%.

Por lo tanto, estos motores encontraron rápida aplicación en los barcos de la marina militar y mercante, en las locomotoras de los ferrocarriles, en los camiones pesados, y en los tractores agrícolas.

Después de este breve análisis de la historia del desarrollo y uso de los combustibles provenientes del petróleo, vemos claramente que el mayor consumidor de estos energéticos es el automóvil.

Tabla 4.1 Consumo de combustible en México durante 1985

Combustible	Consumo
Gas Licuado L.P.	5 676 713 toneladas
Gasolina	18 800 419 m ³
Turbosina	1 729 327 m ³
Kerosina	1 191 155 m ³
Diesel	11 688 963 m ³

Fuente: Pangtay C.S., *Petroquímica y Sociedad*, Fondo de Cultura Económica, Primera edición, México, 1987

Esto se debe no sólo al hecho de tener en circulación millones de vehículos con motores de combustión interna, sino a la muy baja eficiencia de sus motores, ya que desperdiciaría el 75% de la energía generada, como se mencionó anteriormente.

Así pues, como el automóvil sigue siendo el principal consumidor indirecto de petróleo, esto debido a que la mayor parte de las refinerías petroleras están diseñadas para la producción de gasolina.

Después de la aparición del automóvil, el mundo empezó a moverse cada vez más aprisa, requiriendo día a día vehículos de mayor potencia, y por lo tanto mejores gasolinas al mismo tiempo que se demandaban nuevos productos derivados del petróleo. Esto requiere el otorgamiento de un espacio para comprender mejor el proceso de separación del petróleo en sus fracciones para dar lugar a diversos productos de utilidad práctica²⁶.

¿Cómo se puede separar en diferentes fracciones el petróleo? El sentido común dice que hay que calentarlo. Así, a medida que sube la temperatura, los compuestos con menos átomos de carbono en sus moléculas se desprenden fácilmente; después los

²⁶ Cfr. Pangtay C.S., *Petroquímica y Sociedad*, Fondo de Cultura Económica, Primera edición, México, 1987

compuestos líquidos se vaporizan y también se separan, y así, sucesivamente, se obtienen las diferentes fracciones.

En las refinerías petroleras, estas separaciones se efectúan en las torres de fraccionamiento o de destilación primaria.

Para ello, primero se calienta el crudo a temperaturas cercanas a los 400 °C para que entre vaporizado a la torre de destilación. Aquí los vapores suben a través de platos que impiden el paso de los líquidos de un nivel a otro. Al ascender por los platos los vapores se van enfriando.

Este enfriamiento da lugar a que en cada uno de los platos se vayan condensando distintas fracciones, cada una de las cuales posee una temperatura específica de licuefacción.

Los primeros vapores que se licúan son los del gasóleo pesado a 300 °C aproximadamente, después el gasóleo ligero a 200 °C; a continuación, la kerosina a 175 °C, la nafta y por último, la gasolina y los gases combustibles que salen de la torre de fraccionamiento todavía en forma de vapor a 100 °C. Esta última fracción se envía a otra torre de destilación en donde se separan los gases de la gasolina.

Ahora bien, en esta torre de fraccionamiento se destila a la presión atmosférica, o sea, sin presión relativa. Por lo tanto, sólo se pueden separar sin descomponerse los hidrocarburos que contienen de 1 a 20 átomos de carbono.

Para poder recuperar más combustibles de los residuos de la destilación primaria es necesario pasarlos por otra torre de fraccionamiento que trabaje a alto vacío, o sea a presiones inferiores a la atmosférica para evitar su descomposición térmica, ya que los hidrocarburos se destilarán a más baja temperatura. En la torre de vacío se obtienen sólo dos fracciones, una de destilados y otra de residuos.

De acuerdo al tipo de crudo que se esté procesando, la primera fracción es la que contiene los hidrocarburos que constituyen los aceites lubricante y las parafinas, y los residuos son los que tienen los asfaltos y el combustóleo pesado.

Como se mencionó anteriormente, la gasolina es el combustible que tiene mayor demanda; por lo tanto, la cantidad de gasolina natural que se obtiene de cada barril siempre es insuficiente, aun cuando se destilen crudos ligeros, que llegan a tener hasta 30% de este producto²⁷. Además, las características de esta gasolina no llenan las especificaciones de octanaje necesarias para los motores de los automóviles.

Para resolver estos problemas los ingenieros químicos han desarrollado una serie de procesos para producir más y mejores gasolinas a partir de otras fracciones del petróleo.

Como se ha descrito con anterioridad la refinación es la extracción de cualquier sustancia química a partir de combustibles fósiles. Estos incluyen combustibles fósiles purificados como el metano, el propano, el butano, la gasolina, el queroseno, el combustible de aviación, así como pesticidas, herbicidas, fertilizantes y otros artículos como los plásticos, el asfalto o las fibras sintéticas.

Sin embargo, no solamente se deben referir las aportaciones de la petroquímica a la industria de los combustibles y los hidrocarburos. No importa el lugar del mundo donde se encuentre el hombre, siempre estará rodeados de productos derivados de la industria petroquímica.

En términos generales se puede considerar que el gas natural, el gas LP, y varios de los hidrocarburos contenidos en las gasolinas de alto octano, son los principales proveedores de las materias primas básicas para la industria petroquímica.

²⁷ Cfr. Pangtay C.S., *Petroquímica y Sociedad*, Fondo de Cultura Económica, Primera edición, México, 1987

Las olefinas y los compuestos aromáticos obtenidos de algunos de los productos antes mencionados son las piedras angulares sobre las que descansa la industria de los materiales sintéticos.

Indudablemente que no se han cubierto todos los aspectos relacionados a la petroquímica²⁸, Pero sí se han presentado algunos de los descubrimientos y aplicaciones de la petroquímica para comprobar que aún hay mucho futuro en el fascinante mundo de la química del petróleo.

Para ello hace falta el trabajo y talento tanto de científicos de todas las ramas de la ciencia, como de toda clase de personal técnico como son los ingenieros químicos.

El trabajo del ingeniero químico permite establecer la comprensión y la explicación de causas, principios, procesos y leyes universales, con el fin de incrementar la relación de diferentes variables y procesos que permiten encontrar los satisfactores de necesidades comunes a la mayoría de los seres humanos, muestra de esto son los innumerables aportes que el ingeniero químico ha desarrollado a través de uno de sus principales campos de desarrollo: La industria petroquímica.

El pago que recibirá la ingeniería química como principal disciplina desarrolladora de la industria petroquímica al presente esfuerzo colectivo será el de garantizarle a las futuras generaciones el poder de disfrutar de los beneficios que brindan los productos derivados de la petroquímica en todos los aspectos de la vida cotidiana.

2. Desarrollo de la industria de los polímeros

A lo largo del siglo XX la ciencia de Polímeros se ha desarrollado de tal manera que se han obtenido materiales básicos para los desarrollos tecnológicos de la actualidad. Sin embargo la “industria” de los polímeros está presente desde hace muchos siglos, incluso en las denominadas Edad de Piedra, Edad de Bronce o Edad de Hierro, los

²⁸ Leprince, P., Catry J. P. y Chauvel, A., *Les produits intermédiaires de la chimie de dérivés du pétrole*, Société des éditions Technip, 1967.

polímeros estaban presentes en mayor medida que los materiales que dieron nombre a dichas épocas, puesto que los polímeros forman la base de la vida animal y vegetal.

Los hombres primitivos ya utilizaban técnicas rudimentarias de tratamiento de polímeros para curtir las pieles de los animales y transformarlas en cuero o para modelar caparazones de tortuga mediante la aplicación de calor. También aprendieron a procesar, teñir y tejer fibras naturales, entre otros aportes en este renglón.

Los polímeros²⁹, del griego *polis* (mucho) y *meros* (partes), reciben también el nombre de macromoléculas, debido al enorme tamaño de las moléculas que los componen. Estas moléculas gigantes tienen pesos moleculares más de cien veces mayores que los de moléculas pequeñas como el agua.

Los polímeros se pueden clasificar en dos grandes grupos³⁰: los naturales o biopolímeros, que como su nombre indica se encuentran en la naturaleza; y los sintéticos, fabricados por el hombre. Pero a pesar, de la gran variedad de polímeros existentes, todos tienen una estructura interna similar y se rigen por las mismas teorías.

La tecnología de los polímeros comenzó de forma empírica, debido a la falta de conocimientos científicos en la materia. Hasta que en 1828 el químico y médico alemán Friedrich Wöhler sintetizara urea a partir de compuestos inorgánicos, los polímeros más utilizados eran entre otros el algodón, el lino, la lana, la seda, el cuero, las láminas de celulosa (papel), el caucho natural, la gutapercha (utilizada para impermeabilizar prendas), la balata (sustancia similar al caucho que se obtiene del látex) y la laca. En 1839³¹, el técnico Charles Goodyear transformó el caucho de la hevea en caucho

²⁹ Kratochvíl, P.; Stepto, R. F. T.; Suter, U. W. *Glossary of Basic Terms in Polymer Science. Pure Appl. Chem.* 1996. 68 2287–231

³⁰ Michalovic, M. et. al., *Macrogalleria*. Department of Polymer Science, University of Southern Mississippi. <http://www.pslc.ws/macrog/maindir.htm>

³¹ Allcock, Harry R.; Lampe, Frederick W.; and Mark, James E. *Contemporary Polymer Chemistry*, 3a ed. Pearson Education. USA. 2003

vulcanizado en los Estados Unidos de América y en 1846 el químico alemán Christian Friedrich Schönbein combinó celulosa con ácido nítrico. Pero no fue hasta 1850 cuando el también químico alemán August Kekulé Von Stradonitz desarrolló las técnicas de representación de fórmulas estructurales aceptadas hoy en día, y empezó a comprenderse la el comportamiento químico y la naturaleza de los polímeros.

Aunque antes de 1920 la lista de polímeros sintetizados para usos de la industria era de por lo menos diez, la segunda guerra mundial quizás fue el desencadenante para el aprovechamiento a nivel masivo de estos recursos. El nylon, por ejemplo, se desarrolló a raíz de la incapacidad de traer seda del Japón y el lanzamiento en los Estados Unidos de América de las primeras medias veladas confeccionadas en ese material fue un gran espectáculo. El dacrón también surgió por un motivo similar ya que remplazó a un producto que se exportaba mayoritariamente de Indonesia, lugar de difícil acceso en los años de la Guerra Mundial³².

Actualmente, la industria de los polímeros sintéticos crece con mayor rapidez que cualquier otra, y este hecho se prolongará.

La importancia de los polímeros sintéticos es tan grande que sin ellos nuestra calidad de vida se reduciría a niveles alarmantes. De entre todos cabe destacar uno: El PVC: Policloruro de Vinilo³³. Es un plástico compuesto por: 43 % de substancias procedentes del crudo y 57 % de sal. Por lo tanto, se emplean menos materias primas y energía que para otros plásticos o para otros materiales "clásicos". Esto lo sitúa en excelentes condiciones para que sea reconocido como uno de los polímeros sintéticos más respetables en materia de desarrollo sustentable, ello significa que el PVC requiere

³² Michalovic, M. et. al., *Macrogalleria*. Department of Polymer Science, University of Southern Mississippi. <http://www.pslc.ws/macrog/maindir.htm>

³³ Brandrup, J. Immergut, E.H.; Grulke, E.A. *Polymer Handbook*, 4a ed. Wiley-Interscience. USA. 1999

menos consumo de recursos materiales, hídricos y energéticos que otros a los que se les denomina alternativos.

En la actualidad se está trabajando cada vez más en la investigación y desarrollo de campos relacionados con la ciencia o la tecnología de los polímeros, siendo innumerables los avances tecnológicos conseguidos en este sector, por lo que se ha dado por llamar a nuestro tiempo «la era de los polímeros³⁴». Siempre seguiremos proclamando que trabajar en la investigación y el desarrollo es trabajar para la Humanidad³⁵.

La industria de los polímeros sintéticos, en la actualidad crece con mucha fuerza, ya que sin ellos, nuestra calidad de vida se vería francamente disminuida. Lo anterior, debido a que existen polímeros sintéticos de uso tan importante y cotidiano como el PVC, que en su producción requiere de bajos montos de materia prima y recursos materiales.

No es difícil imaginar el impacto que la investigación en nuevos polímeros va a tener en el próximo futuro en la sociedad actual. Toda nueva tecnología, desde el avión supersónico y el tren de alta velocidad a las pequeñas baterías para teléfonos móviles, pasando por la optoelectrónica, los nuevos implantes quirúrgicos y nuevos tejidos sintéticos, necesita del desarrollo de un conjunto amplio de materiales con propiedades muy específicas. Sin la investigación y el conocimiento de nuevos polímeros (plásticos en su acepción más popular) estas tecnologías no podrían desarrollarse en el futuro y, ni tan siquiera, imaginarse.

³⁴ Michalovic, M. et. al., *Macrogalleria*. Department of Polymer Science, University of Southern Mississippi. <http://www.pslc.ws/macrog/maindir.htm>

³⁵ Revista Inter-Forum, Consorcio Internacional de Publicaciones Académicas Alternativas (ICAAP), *¿Qué son los Polímeros?*, 2002. Artículo disponible en línea en <http://www.revistainterforum.com/espanol/articulos/072902Naturalmente.html>

El previsible desarrollo que los polímeros pueden conseguir en los próximos años está motivado por dos hechos fundamentales³⁶:

El primero, se deriva del amplio conocimiento que tenemos de ellos. Aunque el descubrimiento y la investigación en polímeros es reciente, en comparación con otros materiales, la ciencia de polímeros ha conseguido importantes logros en la síntesis de nuevos monómeros y polímeros, en la descripción de la cinética y termodinámica de la polimerización, en la determinación de la micro estructura y cristalinidad, en la predicción de la composición química de polímeros y copolímeros, en el estudio de la relajación molecular y las transiciones térmicas, propiedades mecánicas, conducción eléctrica, interacciones polímero-polímero y polímero-carga y en el conocimiento de la viscoelasticidad y procesos de transformación de polímeros.

Este conocimiento adquirido en el campo de los polímeros ha sido reconocido con la concesión de numerosos premios Nobel en los últimos años.

El segundo, es debido a las propiedades intrínsecas de los polímeros: la amplia disponibilidad e infinidad de estructuras poliméricas posibles; baja densidad, lo que les hace ser mucho más ligeros que otros materiales, fácilmente procesables y de bajo consumo energético; económicos; y, lo más importante, con un amplio espectro de propiedades específicas: conductores y aislantes, transparentes y opacos, flexibles y rígidos, impermeables y permeables, y pueden llegar a tener una resistencia comparable a la de los metales.

La ciencia de polímeros en los años venideros tiene que resolver importantes retos, entre otros, el fenómeno de adhesión y el control de la química de superficies e interfases; la obtención de polímeros con arquitectura “ordenada” a escala nanométrica y determinar el efecto del confinamiento en las propiedades finales del polímero; el origen de la dinámica molecular y su posible generalización, programas de simulación

³⁶ Mijangos U. C., *La importancia de los polimeros*, Sociedad de Estudios Vascos, España, 2009. Artículo disponible en línea en <http://www.euskonews.com/0500zbnk/gaia50004es.html>

que faciliten la predicción de la estructura de cualquier polímero y de sus propiedades³⁷.

Lo que se pretende es obtener un polímero “a medida”, para cada necesidad. Además, los polímeros tienen “un compromiso de sustentabilidad” con el medio ambiente y para ello tienen que resolver un reto muy importante, encontrar nuevas fuentes de obtención de los polímeros, aparte del petróleo.

Los materiales poliméricos tendrán grandes oportunidades tecnológicas en áreas como la Energía, Salud, Transporte, Medio Ambiente. Como ejemplos podemos citar: Polímeros naturales biodegradables como almidón, celulosa, ácido poliláctico³⁸.

Resulta de especial importancia resaltar el caso de los biomateriales para la regeneración de tejidos del cuerpo humano a partir de cultivos celulares específicos “in vitro”, utilizando un soporte (normalmente un sistema polimérico poroso y biodegradable) y su posterior implantación en el organismo y biomateriales para todo tipo de implantes en el cuerpo humano.

También existen otros modelos de aplicación tecnológica para los polímeros, ejemplo de esto son los materiales empleados para la fabricación de pantallas enrollables (electrónica flexible), polímeros nanoestructurados que en combinación con otros materiales se emplearán como nanosensores y materiales con respuesta a estímulos. Los materiales compuestos en base a polímeros verán aumentar su demanda para su empleo masivo en el transporte (aeronáutica, trenes, automoción...) y en sistemas para la producción de energía (aerogeneradores).

³⁷ Mijangos U. C., *La importancia de los polimeros*, Sociedad de Estudios Vascos, España, 2009. Artículo disponible en línea en <http://www.euskonews.com/0500zbnk/gaia50004es.html>

³⁸ Mijangos U. C., *La importancia de los polimeros*, Sociedad de Estudios Vascos, España, 2009. Artículo disponible en línea en <http://www.euskonews.com/0500zbnk/gaia50004es.html>

Afortunadamente, para afrontar todos estos retos, la sociedad cuenta con grandes investigadores especializados en polímeros, la gran mayoría de estos son ingenieros químicos, los cuales desempeñan un papel fundamental en importantes sectores industriales dedicados a estos materiales. Además de ser activos participantes de diversos programas de investigación para diferentes campos de la ciencia y la tecnología inherentemente relacionados con la ingeniería química.

3. Desarrollo de la tecnología nuclear

Ya los antiguos griegos indicaban la existencia de una partículas fundamentales, que actuaban como elementos constituyentes de la materia, prediciendo la existencia de unos átomos de diminuto tamaño, y enumerando una pequeña cantidad de diferentes tipos.

Hasta finales del siglo XIX no se descubrieron más datos sobre estos elementos, como el cálculo de su tamaño medio, que se estimó en 10^{-8} cm. de diámetro (cien millones de átomos linealmente en un centímetro).

J. J. Thomson, junto a otros investigadores, descubrió en 1897 que los átomos no eran indivisibles como se creía³⁹, sino que podían ser separados en componentes más pequeños. Asimismo, descubrió la composición de los átomos y la existencia de unas partículas que orbitaban en la zona exterior denominadas *electrones*, cuya masa era mucho menor que la del *núcleo*; éste, por su parte, tenía carga positiva y su peso suponía casi la totalidad del átomo en conjunto. A pesar de que no fue capaz de determinar la composición del núcleo, quedaron sentadas las bases para posteriores investigaciones, las primeras de las cuales se centraron en la estructura del átomo.

El átomo consta de un núcleo de gran tamaño sobre el que orbitan los electrones. Ernest Rutherford desarrolló en 1911 un modelo basado en un sistema solar en miniatura, en el que el núcleo era una estrella y los electrones los planetas. La

³⁹ Bulbulian, A., *El descubrimiento de la radiactividad*. Fondo de Cultura Económica. *La radiactividad*. Phroneris, Biblioteca Digital (1ª ed edición). México. 1987.

explicación de su teoría tenía sin embargo dos errores: que los electrones emitirían energía al girar, disminuyendo su velocidad y cayendo al núcleo; erróneo porque los electrones ocupan órbitas fijas. Otro error consistía en que los electrones podían saltar de una órbita a otra cualquiera alrededor del núcleo; sin embargo, se comprobó que los electrones sólo podían ocupar determinadas órbitas siempre iguales.

En 1913 Niels Bohr enunció una nueva teoría atómica para dar solución a los fallos de la teoría de Rutherford⁴⁰; consistía en un sistema con un pequeño núcleo alrededor del cual giraban los electrones, pero con órbitas que obedecían a ciertas reglas restrictivas. Según esas reglas, sólo podrían existir un número determinado de órbitas y cada órbita tendría un nivel de energía, por tanto el electrón que ocupase una órbita concreta poseería la energía correspondiente a esa órbita. Asimismo, un electrón no podría saltar de una órbita a otra, salvo recibiendo una energía adicional igual a la diferencia de energía de ambas órbitas; si un electrón cambiara de una órbita de energía superior a otra inferior, emitiría igual cantidad de energía en forma de *onda electromagnética*, que sería de espectro fijo para los mismos tipos de átomos.

La teoría de Bohr, a pesar de los adelantos en las explicaciones sobre la estructura de la materia, también contenía errores, aunque hoy es aceptada en líneas generales⁴¹. Los electrones deberían emitir energía al girar alrededor del núcleo, invalidando que las órbitas fueran de energía constante. La teoría de la *mecánica cuántica* vino a solucionar estas interrogantes, mediante la enunciación del principio de la dualidad *onda-partícula*, por la cual toda partícula puede comportarse igualmente como una onda. Estas teorías y estudios fueron fruto del desarrollo y aportaciones de muchos y notables científicos como Schrödinger, Heisenberg, Dirac, Planck y Louis de Broglie, entre otros.

⁴⁰ Bulbulian, A., *El descubrimiento de la radiactividad*. Fondo de Cultura Económica. *La radiactividad*. Phroneris, Biblioteca Digital (1ª ed edición). México. 1987.

⁴¹ Bulbulian, A., *El descubrimiento de la radiactividad*. Fondo de Cultura Económica. *La radiactividad*. Phroneris, Biblioteca Digital (1ª ed edición). México. 1987.

La siguiente operación después de establecerse el sistema de las órbitas electrónicas, era determinar la estructura del núcleo. En estado normal un átomo no posee carga eléctrica, sin embargo, se observó que la carga del núcleo era positiva y siempre múltiplo de la carga del electrón; así pues, se concluyó que el núcleo estaba compuesto por un conjunto de partículas, cada una de ellas con igual carga que la del electrón, pero positiva; esas partículas fueron denominadas *protones*. Según este planteamiento, los átomos tienen el mismo número de electrones que de protones para poder mantener una carga neutra, es decir, cargas negativas en los electrones iguales a cargas positivas en los protones. El hidrógeno posee un electrón en su órbita, por tanto posee igualmente un protón en su núcleo; se dedujo así que el peso del protón era aproximadamente dos mil veces superior al del electrón; sin embargo, esta medida no se corresponde con la de otros elementos atómicos. La incógnita de las masas quedó despejada en 1932 cuando James Chadwick, de la Universidad de Cambridge, descubrió un nuevo elemento en el núcleo cuando estudiaba las colisiones entre partículas a alta velocidad, al que se le denominó *neutrón*. Quedó así definitivamente determinada la estructura del átomo.

El paso entre la determinación de la estructura de la materia y la teoría para la obtención de la energía nuclear por fisión lo dio Albert Einstein. Los experimentos sobre esta teoría demostraron que al bombardear un átomo pesado con otra partícula, las diversas partes en que se separaba el núcleo tenían en conjunto masas menores que la del núcleo original, liberándose por tanto una cantidad de energía. Si se aplicaba la fórmula de Einstein sobre la diferencia de masas, se observaba que los resultados eran coincidentes con los de la energía liberada.

Con el éxito en la ejecución de la teoría de Einstein se había encontrado una fuente de energía de enormes posibilidades, sin embargo en la práctica aún era inviable. El motivo era que experimentalmente siempre se consumía mayor energía que la que se producía. Estas limitaciones quedaron arrinconadas en 1939, cuando Lise Meitner y Otto Hahn descubrieron la facilidad con que podía ser partido el núcleo del uranio

mediante un neutrón, el cual producía además otros tres neutrones que podían dividir a su vez otros núcleos, acelerando la propia *radiactividad natural* del uranio.

Superadas las limitaciones para generar energía nuclear aprovechable, en 1942 comenzó a funcionar en la Universidad de Chicago el primer prototipo de reactor nuclear, construido por Enrico Fermi. A finales de 1950 comenzaría una utilización práctica de esta energía para producir electricidad, con las primeras centrales nucleares de fisión⁴².

La energía nuclear no sólo tuvo aplicación pacífica. Paralelamente a esa investigación se realizaban ensayos con fines bélicos. Cinco años antes de que se le diera a la fisión nuclear una aplicación práctica para la producción de energía eléctrica, fueron lanzadas dos bombas atómicas sobre las ciudades de Hiroshima y Nagasaki que causaron gravísimos daños, tanto en vidas humanas como materiales.

La energía nuclear mediante la fisión de uranio supuso un paso tecnológico importante para la humanidad, pero con elevados costos ecológicos debido a los residuos radiactivos que produce, los cuales deben ser manejados con extremo cuidado, además de ser de complicado almacenamiento por el largo periodo de degradación que precisa.

Los inconvenientes de la energía de fisión tienen su contrapunto en la energía de fusión. Esta técnica podría ser la solución a las demandas de una energía económica, ecológica y muy potente, aunque de momento en los experimentos siempre se ha consumido más energía que la que se produce.

La fusión nuclear consiste en la unión de varios átomos de pequeño tamaño (como el del hidrógeno) en otro de peso mayor; la energía que libera es muy superior a la que se obtiene mediante la fisión del uranio, cuyo átomo es muy pesado. Una gran ventaja de este proceso es que a diferencia del uranio, el hidrógeno es un elemento muy

⁴² Bulbulian, A., *El descubrimiento de la radiactividad*. Fondo de Cultura Económica. *La radiactividad*. Phroneris, Biblioteca Digital (1ª ed edición). México. 1987.

abundante en la naturaleza, además de que los residuos que produce pueden liberarse sin peligro alguno⁴³.

Probablemente, la aplicación práctica más conocida de la energía nuclear es la generación de energía eléctrica para su uso civil, en particular mediante la fisión de uranio enriquecido. Para ello se utilizan reactores en los que se hace fisiónar o fusionar un combustible. El funcionamiento básico de este tipo de instalaciones industriales es similar a cualquier otra central térmica, sin embargo poseen características especiales con respecto a las que usan combustibles fósiles⁴⁴:

Se necesitan medidas de seguridad y control mucho más estrictas. En el caso de los reactores de cuarta generación estas medidas podrían ser menores, mientras que en la fusión se espera que no sean necesarias.

La cantidad de combustible necesario anualmente en estas instalaciones es varios órdenes de magnitud inferior al que precisan las centrales termoeléctricas convencionales.

Las emisiones directas de CO₂ y NO_x en la generación de electricidad, son nulas; aunque indirectamente, en procesos secundarios como la obtención de mineral y construcción de instalaciones, sí se producen emisiones.

En lo que respecta al proceso de generación de energía eléctrica por medio de fisión nuclear⁴⁵ cabe resaltar que tras un uso exclusivamente militar de esta tecnología, se comenzó a plantear la aplicación del conocimiento adquirido a la vida civil. El 20 de diciembre de 1951 fue el primer día que se consiguió generar electricidad con un

⁴³ Goded E. F., Serradell G.V., *Teoría de reactores y elementos de ingeniería nuclear. Tomo I.* Publicaciones científicas de la JEN. 1975

⁴⁴ Goded E. F., Serradell G.V., *Teoría de reactores y elementos de ingeniería nuclear. Tomo I.* Publicaciones científicas de la JEN. 1975

⁴⁵ *Utilización de la Energía Nuclear Para la Producción de Energía Eléctrica*, Consejo de Seguridad Nuclear de España, 1992.

reactor nuclear (en el reactor estadounidense EBR-I, con una potencia de unos 100 kW), pero no fue hasta 1954 cuando se conectó a la red eléctrica una central nuclear (fue la central nuclear soviética Obninsk, generando 5 MW con solo un 17% de rendimiento térmico). El primer reactor de fisión comercial fue el Calder Hall en Sellafield, que se conectó a la red eléctrica en 1956. El 25 de marzo de 1957 se creó la Comunidad Europea de la Energía Atómica (EURATOM), el mismo día que se creó la Comunidad Económica Europea, entre Bélgica, Francia, Alemania, Italia, Luxemburgo y los Países Bajos. Ese mismo año se creó el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Ambos organismos con la misión, entre otras, de impulsar el uso pacífico de la energía nuclear.

Su desarrollo en todo el mundo experimentó a partir de ese momento un gran crecimiento, de forma muy particular en Francia y Japón, donde la crisis del petróleo de 1973 influyó definitivamente, ya que su dependencia en el petróleo para la generación eléctrica era muy marcada (39 y 73% respectivamente en aquellos años, en 2008 generan un 78% y un 30% respectivamente mediante reactores de fisión)⁴⁶.

En 1979 el accidente de Three Mile Island provocó un aumento muy considerable en las medidas de control y de seguridad en las centrales, sin embargo no se detuvo el aumento de capacidad instalada. Pero en 1986 el accidente de Chernóbil, en un reactor de diseño ruso que no cumplía los requisitos de seguridad que se exigían en occidente, acabó radicalmente con ese crecimiento.

En octubre de 2007 existían 439 centrales nucleares en todo el mundo que generaron 2,7 millones de MWh en 2006. La potencia instalada en 2007 fue de 370.721 MWe. En marzo de 2008 había 35 centrales en construcción, planes para construir 91 centrales nuevas (99.095 MWe) y otras 228 propuestas (198.995 MWe). Aunque solo 30 países

⁴⁶ Bustamante G.G., *Energía Nuclear*, Caracas, Venezuela. Artículo disponible en línea en la dirección <http://bit.ly/cH6COM>

en el mundo poseen centrales nucleares, aproximadamente el 15% de la energía eléctrica generada en el mundo se produce a partir de energía nuclear⁴⁷.

Una vez estandarizado el uso del uranio, se planteó añadir el plutonio como combustible extra en estos reactores de fisión, aumentando de una forma importante la eficiencia del combustible nuclear y reduciendo así uno de los problemas del combustible gastado. Esta posibilidad incluso llevó al uso del plutonio procedente del armamento nuclear desmantelado en las principales potencias mundiales. Así se desarrolló el combustible MOX, en el que se añade un porcentaje (entre un 3 y un 10% en masa) de este plutonio a uranio empobrecido. Este combustible se usa actualmente como un porcentaje del combustible de uranio enriquecido, el cual se obtiene a partir de un proceso donde el uranio se purifica por medio de sucesivos tratamientos en disoluciones y precipitaciones hasta que se convierte en un compuesto llamado Hexafluoruro de Uranio. Posteriormente el Hexafluoruro de Uranio se enriquece, es decir, se aumenta la proporción de átomos de Uranio-235 con respecto al Uranio-238. Para ello se realiza una separación selectiva a nivel atómico, utilizando procesos de difusión gaseosa, ultracentrifugación, procesos aerodinámicos, intercambio químico o métodos de separación por láser⁴⁸.

En lo que respecta al proceso de generación eléctrica por medio de fusión nuclear se debe señalar que tras un uso exclusivamente militar, se propuso el uso de esta energía en aplicaciones civiles. En particular, los grandes proyectos de investigación se han encaminado hacia el desarrollo de reactores de fusión para la producción de electricidad. El primer diseño de reactor nuclear se patentó en 1946, aunque hasta 1955 no se definieron las condiciones mínimas que debía alcanzar el combustible (isótopos ligeros, habitualmente de hidrógeno), denominadas criterios de Lawson, para

⁴⁷ Bustamante G.G., *Energía Nuclear*, Caracas, Venezuela. Artículo disponible en línea en la dirección <http://bit.ly/cH6COM>

⁴⁸ Bustamante G.G., *Energía Nuclear*, Caracas, Venezuela. Artículo disponible en línea en la dirección <http://bit.ly/cH6COM>

conseguir una reacción de fusión continuada. Esas condiciones se alcanzaron por vez primera de forma cuasiestacionaria el año 1968.

La fusión se plantea como una opción más eficiente (en términos de energía producida por masa de combustible utilizada) segura y limpia que la fisión. Sin embargo faltan aun años para que esta tecnología pueda ser utilizada de forma comercial (la fusión no será comercial al menos hasta mediados del siglo XXI). La principal dificultad encontrada, entre otras muchas de diseño y materiales, consiste en la forma de confinar la materia en estado de plasma hasta alcanzar las condiciones impuestas por los criterios de Lawson, ya que aun se encuentran en desarrollo materiales capaces de soportar las temperaturas impuestas.

Aunque ya se llevan a cabo reacciones de fusión de forma controlada en los distintos laboratorios, en estos momentos los proyectos se encuentran en el estudio de viabilidad técnica en centrales de producción eléctrica como el ITER⁴⁹ (*International Thermonuclear Experimental Reactor*) o el NIF⁵⁰ (*National Ignition Facility*). El proyecto ITER, en el que participan entre otros Japón y la Unión Europea, pretende construir una central experimental de fusión y comprobar su viabilidad técnica. El proyecto NIF, en una fase más avanzada que ITER, pretende lo mismo en Estados Unidos usando el confinamiento inercial.

Una vez demostrada la viabilidad de conseguir un reactor de fusión que sea capaz de funcionar de forma continua durante largos períodos, se construirán prototipos encaminados a la demostración de su viabilidad económica.

Como cualquier aplicación industrial humana, las aplicaciones nucleares generan residuos, algunos muy peligrosos. Sin embargo, los generan en volúmenes muy pequeños comparados con otras aplicaciones, como la industria petroquímica, y de una forma muy controlada. Los residuos más peligrosos generados en la fisión nuclear son

⁴⁹ Sitio de internet oficial del proyecto ITER <http://www.iter.org/>

⁵⁰ Sitio de internet oficial del proyecto NIF <https://lasers.llnl.gov/>

las barras de combustible, en las que se generan isótopos que pueden permanecer radiactivos a lo largo de miles de años. Son los transuránidos como el curio, el neptunio o el americio. También se generan residuos de alta actividad que deben ser vigilados, pero que tienen vidas medias cortas, es decir, duran pocos años y pueden ser controlados⁵¹.

Debido a esto, actualmente los movimientos ecologistas ven en la energía nuclear una peligrosa fuente de contaminación, y grupos de opinión pública han presionado por su eliminación. Sin embargo, algunos de los “gurús” de los grupos ecologistas en los últimos tiempos abogan por un uso controlado de esta forma de energía mientras se desarrollan otras más seguras y limpias, como las renovables y la fusión, para poder así desechar en gran parte la quema de combustibles fósiles.

Existen, sin embargo, estrategias para tratar algunos de los residuos de forma más eficiente. Una de ellas se basa en el uso de centrales nucleares de nueva generación (Sistemas Asistidos por Aceleradores o ADS en inglés⁵²) usando torio como combustible adicional, degradando los desechos nucleares en un nuevo ciclo de fisión asistida. Esta es una alternativa viable para las necesidades energéticas de la población ante la dependencia del petróleo, aunque deberán vencer el rechazo de la población. Esta técnica es llamada transmutación, y el primer proyecto será construido alrededor del 2014 (MYRRHA⁵³).

También existen métodos de aprovechamiento de algunos de los residuos peligrosos mediante el reciclado, separando los isótopos que pueden aprovecharse en aplicaciones médicas o industriales.

⁵¹ Bustamante G.G., *Energía Nuclear*, Caracas, Venezuela. Artículo disponible en línea en la dirección <http://bit.ly/cH6COM>

⁵² Cfr. Bustamante G.G., *Energía Nuclear*, Caracas, Venezuela. Artículo disponible en línea en la dirección <http://bit.ly/cH6COM>

⁵³ Sitio de internet oficial del proyecto MYRRHA <http://myrrha.sckcen.be/>

El tratamiento de los combustibles de fisión, en cualquier caso pasa por el almacenamiento de los residuos que no pudieran ser eliminados en cuevas profundas, los llamados Almacenamientos Geológicos Profundos (AGP)⁵⁴ donde el objetivo final es que queden enterrados con seguridad durante varios miles de años aunque esto no puede garantizarse.

Otro problema asociado a los reactores de fisión es la susceptibilidad de ser objetivos de los terroristas, igual que lo pueden ser otras instalaciones que fabrican productos tóxicos. Sin embargo, estas instalaciones poseen niveles de seguridad más elevados que la mayoría del resto de instalaciones industriales.

El reto que representa la creación y adopción de nuevas tecnologías relacionadas a la energía nuclear continua siendo, inevitablemente, una de las tareas más representativas a las que se enfrentará la ingeniería química durante el desarrollo de los años venideros.

4. Desarrollo e impacto de los fertilizantes.

El término fertilizante se refiere a cualquier sustancia orgánica o inorgánica, natural o sintética que aporte a las plantas uno o varios de los elementos nutritivos indispensables para su desarrollo vegetativo normal⁵⁵.

Las plantas extraen su alimento del agua del suelo y el oxígeno, hidrógeno y bióxido de carbono del aire, pero para completar su alimentación necesitan utilizar ciertas sustancias químicas simples del suelo, los llamados nutrientes vegetales. Los fertilizantes y abonos se encargan de entregar y devolver a la tierra los nutrientes necesarios para el adecuado crecimiento de plantas, árboles, prados y arbustos.

⁵⁴ Sitio de internet oficial del proyecto de Almacenamiento Geológico Profundo ENRESA <http://www.enresa.es/>

⁵⁵ Cfr. Tate W.B., *The development of the organic industry and market: an international perspective*. In N.H. Lampkin and S. Pade. *The Economics of Organic Farming*.

Todos los suelos poseen una cierta cantidad de nutrientes vegetales provenientes de la parte mineral del suelo y del humus generado por el reciclaje de materias vegetales y animales caídas sobre la superficie.

Cuando se cultivan las plantas, el equilibrio se altera, porque el proceso de reciclaje natural de los elementos esenciales del suelo es más lento de lo que demora la planta en utilizarlos⁵⁶.

Entre estos elementos, el caso del nitrógeno merece una mención aparte ya que es uno de los elementos que promueve el crecimiento de la planta. Cuando falta nitrógeno en las plantas las hojas se ponen amarillas y dejan de crecer. Asimismo el fósforo favorece la maduración de flores y frutos, fomenta su perfume y dulzor, les da la fuerza necesaria para mantenerse rígidas y poder sostener todas sus partes promoviendo el buen desarrollo de las raíces y fortalece el ciclo de cada planta. La falta de fósforo se reconoce porque las hojas se oscurecen más de lo normal. La planta deja de florecer o florece muy poco y las raíces dejan de crecer.

El potasio es el responsable de la multiplicación celular y de la formación de tejidos más resistentes a la sequía y las heladas. Sin potasio las hojas muestran severos cambios de color que pueden ser en tonalidades amarillentas o verde muy pálido con manchas cafés.

Estos elementos son los principales nutrientes vegetales que las plantas para su buen desarrollo requieren en grandes cantidades, por esto es necesario volver a incorporarlos al suelo con regularidad. También extraen del suelo los llamados "microelementos", como zinc, hierro, magnesio y calcio, que los requieren en cantidades pequeñas, pero también importantes para su nutrición.

Una parte de los aportes de nutrientes proviene de los abonos orgánicos, como composta y estiércol, pero su principal fuente de suministro son los fertilizantes, que

⁵⁶ Cfr. *Abonos, fertilizantes y correctores del suelo*, Hogar Natural, 2005. Artículo disponible en línea en <http://www.elhogarnatural.com/abonos%20y%20fertilizantes.htm>

aportan cantidades considerables de alguno de esos nutrientes. La proporción de los nutrientes dependerá del origen y fabricación del fertilizante.

Además de reponer los nutrientes eliminados del jardín al ser utilizados por las plantas los lavados del suelo por el agua de lluvias y riego así como las podas y el barrido de hojas, también aceleran y mejoran algunas funciones de las plantas, tales como la floración y el tamaño de las frutas, la prolongación de la vida, y la protección de plagas y enfermedades.

Cada uno de los diferentes tipos de fertilizantes, orgánicos e inorgánicos, puros y compuestos, líquidos y sólidos, cumplen distintas funciones. No hay mejores o peores, la adecuada elección dependerá de la fertilidad del suelo y su nivel de salinidad, la cantidad de agua disponible, las condiciones climatológicas, el tamaño de la especie vegetal y el tipo de planta.

A) Clasificación de los fertilizantes⁵⁷

En lo relevante a la clasificación de los fertilizantes, primeramente se debe hacer mención de los fertilizantes inorgánicos. Todo producto desprovisto de materia orgánica que contenga, uno o más elementos nutritivos de los reconocidos como esenciales al crecimiento y desarrollo vegetal. Pueden ser minerales naturales extraídos de la tierra, o bien elaborados por el hombre (fertilizantes " sintéticos" o " artificiales"). Ambos se descomponen antes de ser absorbidos. Son más utilizados y conocidos que los orgánicos, se disuelven con facilidad, y actúan rápidamente sobre el suelo.

En cuanto a los fertilizantes de origen orgánico se debe recalcar que éstos son los que proceden de residuos animales o vegetales, y contiene los porcentajes mínimos de materiales orgánicos y nutrientes.

⁵⁷ Cfr. *Abonos, fertilizantes y correctores del suelo*, Hogar Natural, 2005. Artículo disponible en línea en <http://www.elhogarnatural.com/abonos%20y%20fertilizantes.htm>

La mayoría son de acción lenta, pues proporcionan nitrógeno orgánico que debe ser transformado en inorgánico por las bacterias del suelo antes de ser absorbido por las raíces. Como estos organismos no actúan en suelos fríos, ácidos o empapados, su efectividad y rapidez de acción dependerá del terreno. Con estos fertilizantes no es tan fácil que se quemen las hojas como con los inorgánicos y efectúan un suministro continuo de alimento a las plantas por mucho tiempo, aunque son más caros.

El fertilizante del tipo orgánico-mineral es el producto obtenido por mezcla o combinación de abonos minerales y orgánicos. Es decir la mezcla de materia orgánica con nutrientes minerales (nitrógeno, potasio, magnesio, y manganeso). Puede ser sólido o líquido.

En cuanto a los fertilizantes de enmienda mineral se debe señalar que éstos están conformados por cualquier sustancia o producto mineral, natural o sintético, capaz de modificar y mejorar las propiedades y las características físicas, químicas, biológicas o mecánicas del suelo. No se consideran abonos. Se usan para corregir el pH de un suelo o para mejorar suelos salinos. Entre estos fertilizantes destacan la enmienda de azufre para reducir el pH del suelo, la enmienda de calcio para incrementar el pH del suelo y la enmienda de yeso o de azufre para corregir suelos salinos ricos en calcio.

Asimismo existen los de enmienda orgánica, éstos son cualquier sustancia o producto orgánico capaz de modificar o mejorar las propiedades y las características físicas, químicas, biológicas o mecánicas del suelo. Destacan por su importancia la enmienda húmica sólida, un producto sólido que aplicado al suelo aporta humus, mejorando sus propiedades físicas, químicas y biológicas, así como la enmienda no húmica sólida, un producto sólido que aplicado al suelo engendra humus, mejorando sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

En el mercado se pueden encontrar diferentes abonos especiales para cada tipo de planta. Entre estos destacan los bioactivadores, los cuales son poco conocidos y poco usados en jardinería, tienen la capacidad de vigorizar y estimular las plantas y

los cultivos para que superen situaciones adversas como sequías, daños por heladas, trasplantes, transportes, plagas, enfermedades, efectos fitotóxicos de plaguicidas mal empleados o de herbicidas, entre otros. Es un complemento al abonado mineral correspondiente. Se aplican por vía foliar, pero también al suelo, por vía radicular.

B) Situación actual y panoramas⁵⁸

En medio de la crisis agropecuaria más importante del último siglo, las decisiones tácticas y estratégicas sobre la siembra y el cultivo han cambiado drásticamente.

La demanda de fertilizantes aumentó de 4.5% anual en 2006 a 6% en el 2007, empujando a los productores al límite de su capacidad de entrega. Algunos ya racionan sus entregas entre los compradores más fieles, dejando de lado a los más nuevos.

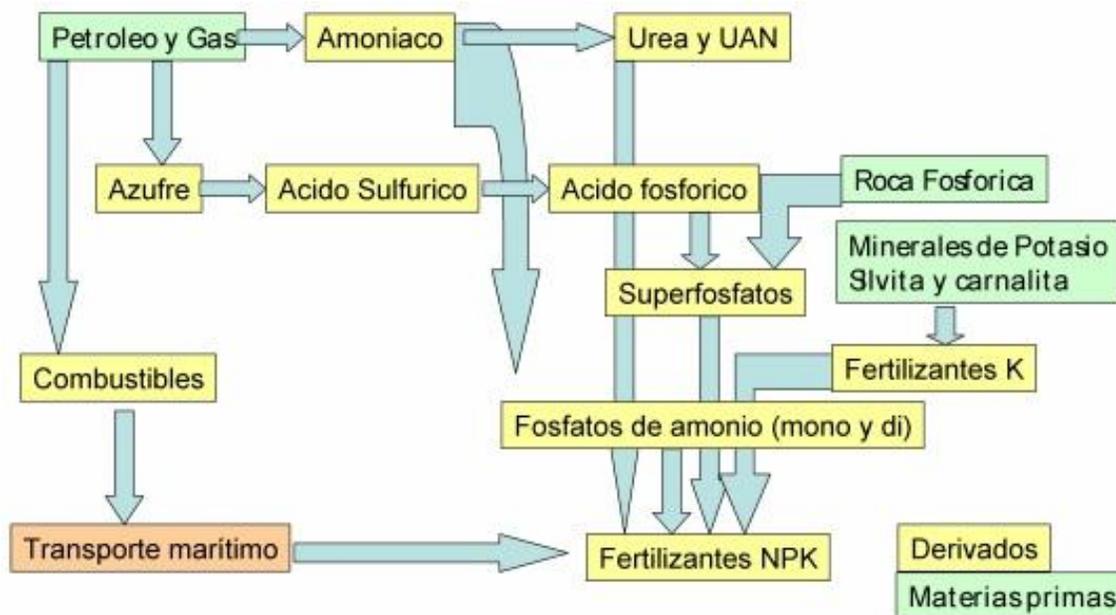
El crecimiento sin precedentes de la demanda global es el resultado de una rápida expansión económica liderada por China e India. A medida que millones de personas salen de la pobreza cada año, éstas demandan y comen más carne y proteínas. Esto resulta en un pico de demanda – y de precios – de los granos forrajeros para ganado. La demanda de etanol también absorbe crecientemente miles de toneladas de maíz en los Estados Unidos de América. Con la prospectiva de las ganancias basadas en los precios record de maíz, trigo y soya, los productores agrícolas del mundo procuran el aumento de la producción. Y para hacerlo precisan más fertilizantes.

A su vez, algunos países subsidian el precio de los fertilizantes. El gasto de la India en este tipo de subsidios llegó a un record histórico de 22 500 millones de dólares, cerca del presupuesto de defensa de los Estados Unidos de América.

⁵⁸ Cfr. Melgar. R. *Los Fertilizantes en el Hall de la Fama*, Biblioteca de fertilidad y fertilizantes en español. Julio 2008. Artículo disponible en línea en <http://www.fertilizando.com/articulos/Los%20Fertilizantes%20en%20Hall%20de%20Fama.asp>

Presiones de parte de la demanda, retroalimentada por el aumento de población y enriquecimiento de su nivel de vida en países de gran densidad de población (India y China), y retracción de la oferta, entre ellas minas de potasio que salieron de producción (Uralkali Berezniki), daños por terremotos (dos plantas de fosfatos en Sichuan, China) y huracanes, (Fosfatos en EUA), entre otros acontecimientos, sacaron de producción fabricas de fosfatados.

Figura 4.a Cadena industrial de fertilizantes



Fuente: Melgar. R. *Los Fertilizantes en el Hall de la Fama*, Biblioteca de fertilidad y fertilizantes en español. Julio 2008. Artículo disponible en línea en <http://bit.ly/cG77xy>

El petróleo incide fuertemente en toda la cadena, no sólo por el impacto en el precio de la urea y nitrogenados, sino de transporte marítimo internacional. Los precios record pueden ser, según algunos analistas, el resultado de haber alcanzado el “*Peak oil*”, un momento que se ha definido como el de máxima producción del petróleo.

Lo que se piensa es que la principal característica será la concentración de las fuentes de insumos estratégicos en cada vez menos operadores. Dada las características de la globalización, no se puede hablar de países, ni de corporaciones exclusivamente, sin embargo, media docena de empresas dominan el mercado global de fósforo y otras tantas del de potasio.

La característica cíclica de los precios de “commodities” indica que en el mediano plazo, el ritmo de aumento de la capacidad instalada de fertilizantes alcanzará el ritmo de aumento de la demanda y los aumentos de precios comenzarían a declinar. Con el petróleo y gas, la situación puede ser diferente pero hay proyectos de inversión que incrementarán la capacidad de exportación de urea en 4.78 millones de toneladas para fines de 2008, (Plantas en Irán, Omán, Egipto, Nigeria y Rusia). Mientras que la expectativa de crecimiento del comercio internacional de urea es de 1,6 millones, el balance indicaría un superávit de 3.18 millones de toneladas

Mientras tanto, además del aumento continuo de la población, se ha agregado ahora la demanda de fertilizantes para la producción de biocombustibles. Por ello es que mientras en los mercados mundiales los precios de los granos continúen en aumento, los productores estarán dispuestos a sostener y validar los aumentos de precios de fertilizantes solicitados por los exportadores de fertilizantes con una mínima destrucción de demanda. Aun así, la pregunta que sobrevuela es cómo hará el mundo en 2030 para alimentar a 2 mil millones más de personas. La respuesta yace en una industria que hasta hace poco, no figuraba en la agenda de los políticos y de los inversionistas. Esto está cambiando rápidamente.

A largo plazo sin embargo, no hay dudas en que sostener la competitividad en la producción de granos requerirá la aceptada relación de diversos sectores productivos, entre los cuales la ingeniería química juega un papel fundamental en los procesos de investigación y desarrollo tecnológico que permitan afrontar con éxito las demandas de un futuro inminentemente cercano.

CAPITULO V

EL FUTURO DE LA INGENIERÍA QUÍMICA

Mucho se ha escrito recientemente acerca de las nuevas tendencias en la práctica de la ingeniería química. Muchos ingenieros en la academia, por ejemplo, sienten que el campo está a punto de entrar a nueva era caracterizada más por la síntesis e invención de nuevos procesos y productos y menos por el análisis y mejora de viejos procesos⁵⁹. Esta nueva era conducirá, sin duda, a un número de frescas oportunidades industriales para los ingenieros químicos. Algunas de estas oportunidades nacerán en la industria microelectrónica, de materiales, biomédica y bioquímica entre otras industrias emergentes. Sin embargo, parte de estas nuevas oportunidades se originarán a partir de las tradicionales industrias de procesos químicos (*CPI*, por sus siglas en inglés), las cuales, estimuladas por la competencia mundial, la regulación ambiental y las preocupaciones de seguridad se esforzarán por seguir las mejoras de eficiencia, capacidad y calidad.

Son mencionadas ambas ramas, las nuevas y las tradicionales industrias que utilizan ingenieros químicos, por el importante papel que éstas desempeñan tanto conjugada como separadamente. Las áreas más nuevas proveen el potencial para el crecimiento económico a largo plazo y brindan una serie de oportunidades para el avance integral de la sociedad. Por excitante e interesante que estas áreas sean, las *CPI* todavía representan una enorme porción del mercado comercial y continúa siendo el sector que representa al mayor empleador de ingenieros químicos. Mientras estas industrias cuentan con un grado innegable de madurez y experiencia, las innovaciones y mejoras continuas en ellas son cruciales para el bienestar y el progreso de la sociedad.

A través del amplio espectro de industrias que requieren de la pericia y el conocimiento de la ingeniería química, el futuro se caracterizará por un gran número de nuevas herramientas y tecnologías a desarrollar e implementar, así como a un cambio conjunto

⁵⁹ Cfr. Koch, D. H., *The future: Benefiting from new tools, techniques, and teaching*, Chemical Engineering Progress, January, 1997.

del énfasis en la formación de nuevos ingenieros químicos por parte de las universidades⁶⁰.

A continuación se presenta una amplia visión de lo que constituirá los nuevos y más importantes elementos y herramientas con los que contarán los ingenieros químicos de las próximas décadas.

1. Nuevas herramientas, técnicas y enseñanza.

A) Los Sistemas Computacionales

Probablemente más que cualquier otra herramienta nueva, la computadora ha transformado la práctica de la ingeniería química en todos los niveles. Los continuos avances en el poder y velocidad de las computadoras, así como la siempre creciente creación de redes e infraestructura de las telecomunicaciones, han creado y continuarán creando, muchas nuevas y poderosas herramientas para cada aspecto de la práctica de la ingeniería, desde tareas de diseño de plantas y procesos hasta el manejo de crisis y prácticas administrativas diarias⁶¹. Algunas de estas nuevas tecnologías de computo afectan el modo en que todas las industrias laboran y negocian día con día.

La velocidad y el poder de las computadoras de hoy permiten la comprensión y manipulación de sistemas multivariables altamente complejos, los cuales serían imposibles de operar y controlar sin la colaboración de un numeroso equipo multidisciplinario. El modelaje y la simulación computarizada permiten la optimización simultánea de una función objetivo que relacione numerosas variables, tales como la rentabilidad, tiempo de mercadeo y factores ambientales.

⁶⁰ Cfr. Koch, D. H., *The future: Benefiting from new tools, techniques, and teaching*, Chemical Engineering Progress, January, 1997.

⁶¹ Cfr. Pekny, J., *Communications: Profiting from an Information Explosion*, Chem. Eng. Progress, 89 (11). Nov. 1993

A pesar de que estas técnicas ya son ampliamente usadas, no han alcanzado todo su potencial en muchas áreas. Una confiable predicción de las propiedades de un sistema, el modelado dinámico de sistemas y modelaje de operaciones unitarias son algunas de las áreas que representarán las mayores aportaciones de las herramientas de computo en la próxima década.

Uno de los avances más importantes en la tecnología del modelado y simulación consiste en la creciente capacidad de utilizar un solo juego de herramientas en todo el ciclo de un proceso. El mismo conjunto de herramientas que utiliza un ingeniero dedicado a la investigación y desarrollo servirá al ingeniero que escalará la operación y, subsecuentemente, a los ingenieros operativos que manejarán la planta. Tal integración de la tecnología de modelado permitirá a los ingenieros la elaboración más eficiente del trabajo, minimizando la duplicación de esfuerzos y creando procesos más robustos de una forma más rápida y eficaz⁶².

B) Simulación Molecular

En años recientes, los químicos han empezado a desarrollar un número de herramientas muy poderosas para entender las relaciones de las propiedades estructurales en polímeros, compuestos inorgánicos, catalizadores, proteínas y biomateriales. El desarrollo de los primeros principios de las propiedades estructurales de modelos es todavía un campo en desarrollo. Los ingenieros químicos aplican cada vez más estas herramientas computacionales que proveen datos cuantitativos que pueden reducir amplia y exitosamente el tiempo de experimentación en el laboratorio⁶³.

En esencia, la simulación molecular implica la determinación matemática de funciones de energía intermolecular y la solución de ecuaciones mecánico estadísticas. Para estructuras moleculares grandes y complejas, estas operaciones llevan al límite la

⁶² Cfr. Boston, J. F., Britt, H.I., Tayyabkhan, M. T., *Software: Tackling Tougher Tasks*, Chem. Eng. Progress 89 (11). Nov. 1993

⁶³ Cfr. Pantelides, C.C., Barton, P. I., *Equation-Oriented Dynamic Simulation: Current Status and Future Perspectives*, Comp & Chem. Eng. 17 (S). 1993

velocidad y poder de las computadoras. Sin embargo, el uso actual de estas tecnologías en entornos industriales conlleva al gran potencial que estas técnicas albergan en el diseño de nuevos materiales⁶⁴.

La simulación molecular predice las propiedades físicas de estructuras químicas. Para los polímeros, dichas propiedades termodinámicas y de transporte, como módulos elásticos, solubilidad y viscosidad son actualmente calculables. La determinación de propiedades más complejas no es algo tan sencillo; técnicas para predicción de la temperatura de transición vítrea, por ejemplo, aún se encuentra en desarrollo⁶⁵.

El mayor reto en el uso de estas nuevas herramientas consiste en la utilización de la simulación molecular para seleccionar las estructuras químicas que permitan alcanzar las propiedades deseadas en los nuevos materiales⁶⁶. Esta técnica ya es ampliamente usada en la industria farmacéutica para acelerar el proceso de descubrimiento de nuevos productos. Los paquetes de simulación comerciales ahora existen y permiten simulaciones que conduzcan hacia las bases estructurales de grupos funcionales, así como al diseño de estructuras moleculares que duplican la función terapéutica de macromoléculas como proteínas y anticuerpos.

La capacidad de simulación de estructuras químicas es claramente útil en el diseño de catalizadores altamente selectivos. Estimaciones de la difusividad del oxígeno e hidrógeno a través de varios tipos de polímeros actualmente son utilizadas para desarrollar una nueva generación de membranas catalizadoras.

La aplicación esencial de la simulación molecular, sin embargo, es el diseño de materiales con propiedades específicas. En este escenario, un ingeniero buscaría un grupo de propiedades deseadas y utilizaría la simulación molecular para trabajar hacia

⁶⁴ Cfr. Koch, D. H., *The future: Benefiting from new tools, techniques, and teaching*, Chemical Engineering Progress, January, 1997.

⁶⁵ Shanley, A., *Molecular modeling it's not just for chemist anymore*, Chemical Engineering, January, 1996.

⁶⁶ Cfr. Koch, D. H., *The future: Benefiting from new tools, techniques, and teaching*, Chemical Engineering Progress, January, 1997.

atrás, en búsqueda de la estructura química adecuada. Aunque a este tipo de simulación aún le faltan años de desarrollo, su uso potencial en diversos sectores comerciales es enorme. Entre sus atractivos, dicha tecnología de simulación promete reducir los costos de investigación y desarrollo asociados con nuevos productos, así como la disminución del tiempo de mercadeo.

C) Modelado dinámico

Aunque la mayoría de los ingenieros químicos prácticos están familiarizados con las técnicas de simulación de diagramas de flujo en estado estacionario tales como aquellos desarrollados en el final de los años 70's por Larry Evans y *Aspen Technology*, el creciente uso de técnicas más novedosas que permiten la simulación de sistemas dinámicos han emergido exitosamente. Dichas simulaciones son de gran utilidad en el diseño y operación de plantas químicas para la generación de productos químicos de gran valor agregado. La simulación dinámica requiere el estudio de su comportamiento en detalle y conduce al desarrollo de esquemas de proceso eficientes.

Un importante uso de la simulación dinámica en un proceso por lotes consiste en la optimización, recuperación y reciclaje de solventes⁶⁷. Crecientes presiones regulatorias y la preocupación sobre el impacto ambiental han forzado a los productores a buscar soluciones más allá de la simple eliminación de desechos o el almacenaje y subsecuente reciclaje de los solventes. Una solución ideal consistiría en la recuperación de materiales de modo que cualquier tratamiento o eliminación de desechos sea redundante. Tal solución requiere un acercamiento a los sistemas de modelado y un análisis de los parámetros de diseño⁶⁸.

La simulación dinámica también puede mejorar procesos tradicionalmente continuos como la refinación del petróleo. Las variables que están más allá del control de la

⁶⁷ Cfr. Pantelides, C.C., Barton, P. I., *Equation-Oriented Dynamic Simulation: Current Status and Future Perspectives*, Comp & Chem. Eng. 17 (S). 1993

⁶⁸ Cfr. Koch, D. H., *The future: Benefiting from new tools, techniques, and teaching*, Chemical Engineering Progress, January, 1997.

compañía, como el precio de la materia prima y la demanda del cliente por un producto, se pueden monitorear diariamente y ser usadas para ajustar el calendario de producción para que finalmente la computadora pueda manejar eficientemente las complejas tareas de calendarización, creando un proceso más eficiente y rentable⁶⁹.

D) Redes Neuronales

Las redes neuronales simulan la función cerebral humana de "aprendizaje", la cual se basa en una red interconectada de neuronas. Las redes neuronales analizan datos desde el sistema- procesos típicamente físicos suplidos por varios sensores computarizados- y después, usan esos datos para entender y predecir el comportamiento del sistema. Aunque las redes neuronales han estado presentes por varios años y han ganado algo de notoriedad, sólo en la última década su uso ha ganado credibilidad en los ambientes industriales⁷⁰.

Los sistemas neuronales pueden predecir el comportamiento del sistema mediante la interpretación de las variables introducidas al mismo. Esto es muy útil para sistemas donde los detalles subyacentes del proceso no están disponibles. Por ejemplo, en un sistema de reacción nuevo, donde el mecanismo y la cinética de reacción no son conocidos, una red neuronal puede usar datos del laboratorio, planta piloto o de la planta en operación para desarrollar un modelo de reactor y sus correspondientes modelos dinámicos de control. Esto se debe a que pueden modelar relaciones no lineales. Las redes neuronales proveen estimados que son más exactos que aquellos tradicionalmente analizados estadísticamente.

Los estimados de las redes neuronales también están disponibles en tiempo real, lo que ofrece una ventaja significativa para los procesos de control sobre los

⁶⁹ Moore, R. L., *New Technologies in Advanced Process Control*. Ind. Proc. Prod. Technol. 10 (6). Nov. 1996

⁷⁰ Cfr. Koch, D. H., *The future: Benefiting from new tools, techniques, and teaching*, Chemical Engineering Progress, January, 1997.

tradicionales⁷¹. Una desventaja, sin embargo, es el peligro de extrapolar demasiado (ya que el modelo carece de un entendimiento estructural fundamental del sistema). Además, es importante tener una red de protección alrededor de cualquier red neuronal, para que cualquier información sensorial errónea no sea parte de la red.

Las redes neuronales actualmente son usadas como "analizadores virtuales" o "sensores de software" para monitorear propiedades físicas de un sistema en una base de tiempo real. La red neuronal puede, por ejemplo, evaluar continuamente muestras de una línea de producción, correlacionar los resultados con condiciones físicas del proceso, alimentar de datos, y proveer las bases para el control del proceso en tiempo real.

Un ejemplo de esta tecnología es la simulación molecular del nylon, que es una molécula larga y compleja. Treinta años de modelado basado en ecuaciones tradicionales han resuelto probablemente cuatro de las aproximadamente ciento cuarenta ecuaciones requeridas. Un "software" basado en las redes neuronales, sin embargo, puede usar la abundante información de propiedades físicas del nylon para predecir algunas características como ciertas propiedades de fusión.

Es probable que las redes neuronales se conviertan pronto en una tecnología comúnmente utilizada para el modelaje de las características del producto y otros difíciles parámetros de proceso.

E) Internet

El crecimiento explosivo del internet en los últimos años ha sido un clásico ejemplo de cómo las tecnologías relacionadas a las computadoras pueden emerger y cambiar nuestras vidas de la noche a la mañana. Predecir tales impactos de este acelerado desarrollo representa una labor muy compleja. En el caso del internet se han

⁷¹ Cfr. Koch, D. H., *The future: Benefiting from new tools, techniques, and teaching*, Chemical Engineering Progress, January, 1997.

presentado algunos indicadores tempranos de la manera en que esta tecnología afectará a la ingeniería química.

El potencial de las herramientas de la navegación de la web como interfaces universales de usuario para futuros quehaceres computacionales está empezando a emerger. Al mismo tiempo, las herramientas de autoría están buscando más y más herramientas de presentación de la información universales. Imaginemos, pues, cualquier información basada en la computadora volviéndose disponible, sin programación adicional, a cualquier otra computadora con acceso a internet. Las posibilidades se vuelven ilimitadas⁷².

Los desarrolladores comerciales ya han desarrollado herramientas de monitoreo de procesos automatizadas que pueden funcionar sin problemas en internet. Estas herramientas permitirían una visión administrativa del rendimiento de una planta en tiempo real para cualquier computadora conectada al internet, ya sea en otra planta, en un aeropuerto, o desde una casa. La Información de la calidad del producto y costo del producto podrá ser consultada desde cualquier parte del mundo. Asimismo, el responsable de la planta podrá cambiar los parámetros operación de la misma para alcanzar continuamente la mejora del rendimiento.

El uso del internet como una herramienta genérica, dentro y fuera de la empresa, tiene el potencial de mejorar la capacidad de las compañías en la toma inteligente de decisiones en tiempo real. Los núcleos directivos y gerenciales serán capaces de reunir información de producción en línea de varias plantas para realizar análisis estratégicos que permitan alcanzar la operación y el funcionamiento óptimo de la compañía⁷³.

Los productores recibirán datos y podrán hacer consultas técnicas en línea. Los empleados de las plantas usaran "intranets" basados en internet para acceder a la

⁷² Cfr. Koch, D. H., *The future: Benefiting from new tools, techniques, and teaching*, Chemical Engineering Progress, January, 1997.

⁷³ Cfr. Pekny, J., *Communications: Profiting from an Information Explosion*, Chem. Eng. Progress, 89 (11). Nov. 1993

documentación de equipo y procesos, estadísticas de las plantas, y procedimientos administrativos.

F) Herramientas Analíticas

Los avances en dispositivos analíticos también tendrán un impacto significativo en el futuro. Mientras la tecnología laser sea más barata y más accesible, las técnicas basadas en laser serán más frecuentemente utilizadas para el monitoreo y control en tiempo real. Muchas de las nuevas herramientas analíticas en desarrollo están enfocadas a procesos específicos donde el control mejorado es necesario para cumplir con las regulaciones ambientales y de seguridad industrial.

En particular, las técnicas espectroscópicas avanzadas, tales como la “ Fourier Transform Infrared Spectroscopy” (FTIR), La espectroscopia de Raman, y la espectroscopia de plasma, que antes se reservaban para la investigación en laboratorio por su costo, confiabilidad, y requerimientos de mantenimiento, migrarán crecientemente a niveles operativos de planta. Estos dispositivos proveerán de datos que puedan ser usados en estrategias de control en tiempo real⁷⁴.

Para algunos procesos, donde el retraso de varias horas en el análisis en laboratorio es inaceptable, estas unidades en línea serán un factor que permita el desarrollo comercial. Tales dispositivos espectroscópicos en línea tan avanzados serán relacionados con las computadoras mediante complejos paquetes computacionales para la interpretación de datos.

G) Desarrollo Continuo de Operaciones Unitarias

Mientras los avances técnicos y las mejoras en eficiencia de operaciones unitarias específicas ocurren todo el tiempo, el nuevo reto es la hibridacion de procesos. Combinar operaciones unitarias individuales, como las reacciones, separaciones e intercambio de calor en operaciones concurrentes mayores serán la tendencia de los

⁷⁴ Cfr. Koch, D. H., *The future: Benefiting from new tools, techniques, and teaching*, Chemical Engineering Progress, January, 1997.

siguientes años. Tecnologías tales como la destilación reactiva, las membranas catalíticas, y los catalizadores de cambio de fase, representan ejemplos de hibridación de procesos donde la reacción y separación se combinan.

Además de su considerable reducción en inversión de capital, los procesos combinados de reacción/separación ofrecen dos grandes ventajas: la reducción de subproductos de reacción no deseados, y una mejora en los rendimientos de reacción que en una operación tradicional no permitirían alcanzar un alto grado de eficiencia en un proceso determinado⁷⁵.

En relación con los asuntos ambientales dirigiendo tantos cambios en las CPI, las tecnologías que ayuden a reducir los subproductos de las reacciones claramente ganan valor y aprecio. Con la combinación de operaciones unitarias como reacción/separación, las materias primas altamente reactivas no tienen oportunidad de reaccionar con productos porque éstos se separan inmediatamente después de su formación. Esto también reduce la materia prima requerida así como la generación de subproductos.

La inmediata remoción de los productos de la reacción también permite llevar a cabo a escala industrial reacciones de constantes de bajo equilibrio que no son factiblemente comerciales bajo condiciones normales. En efecto, las reacciones con porcentajes pequeños de conversión pueden alcanzar conversiones más altas combinando procesos simultáneos de reacción/separación. Varios procesos en esta categoría están actualmente siendo desarrollados mientras que otros tantos se encuentran actualmente en operación en diversos países desarrollados alrededor del mundo.

Un par de ejemplos de aplicaciones recientes de estos procesos híbridos ilustran los beneficios de este nuevo acercamiento a las operaciones unitarias⁷⁶. La destilación

⁷⁵ Cfr. Koch, D. H., *The future: Benefiting from new tools, techniques, and teaching*, Chemical Engineering Progress, January, 1997.

⁷⁶ Cfr. Koch, D. H., *The future: Benefiting from new tools, techniques, and teaching*, Chemical Engineering Progress, January, 1997.

reactiva resulta muy útil para la producción de éteres como el metil ter-butyl eter (MTBE), ter-amylmetil eter(TAME) y etil ter-butyl eter (ETBE) los cuales se usan constantemente para impulsar la oxigenación en la gasolina. Aquí, el intervalo deseado de temperatura para catalizadores es el mismo que para la destilación de éteres reaccionantes e inertes. Así, la destilación reactiva implica un considerable ahorro de energía.

Las membranas catalíticas son un ejemplo de procesos combinados de reacción/separación⁷⁷. Bajo este esquema, el material catalizador también actúa como un sistema de tamizado para separar los productos de reacción mientras se van formando. Una ventaja clave en los procesos de separación de membranas es la eficiencia energética; también se ajustan particularmente a materiales sensibles al calor, tales como sustancias de aplicación farmacéutica y de la industria de la comida para animales.

Las membranas catalíticas, están más cercanas a un despliegue comercial que las membranas porosas, las cuales se separan en base a su tamaño molecular. Procesos robustos no han emergido, aun así, para sintetizar membranas porosas sin defectos con composición apropiada y tamaño de poro adecuado ya son una realidad.

H) Ingeniería Bioquímica y Biotecnología

Las industrias de biotecnología emergentes ofrecen un gran número de oportunidades para la ingeniería química hacia un cambio y crecimiento en los próximos 50 años. Las tecnologías que participan en el desarrollo de este campo - ingeniería genética y biología molecular - tienen aún pocos años de edad⁷⁸. Los nuevos campos de la ingeniería han empezado a notar estas poderosas nuevas técnicas y sus aplicaciones

⁷⁷ Cfr. Srinivassan, R., Hsing, I. M., Ryley, J., Harold, M.P., Jensen, K.F., Schmidt, M.A., *Micromachined Chemical Reactors for Surface Catalyzed Oxidation Reactions*, Technical Digest, Solid-State Sensor and Actuator Workshop, Hilton Head, SC, p. 15. 1996

⁷⁸ Cfr. Koch, D. H., *The future: Benefiting from new tools, techniques, and teaching*, Chemical Engineering Progress, January, 1997.

potenciales. La reciente cosecha de inventos biotecnológicos requiere de una exitosa escala a proporciones comerciales. Además, los nuevos acercamientos bioquímicos a viejos problemas podrían brindar nuevas y más eficientes soluciones para antiguos problemas.

Los acercamientos básicos de ingeniería genética a la producción celular de farmacéuticos como la insulina ya están firmemente establecidos comercialmente. Los ingenieros modifican el código genético de células básicas, tales como *e.coli*, en cierta manera para que éstos produzcan el compuesto deseado (insulina, ainterferon alfa, hormona de crecimiento humano, entre otros) Una más reciente extensión de esta técnica es la ingeniería metabólica, donde el código genético es manipulado de tal manera que cambia el proceso metabólico de la célula. Así la célula manufactura el producto deseado como resultado de varias reacciones metabólicas⁷⁹.

Con el tiempo, las técnicas de ingeniería metabólica podrán ser lo suficientemente robustas para reemplazar ciertas técnicas tradicionales para sintetizar ciertos productos. Por ejemplo, las células de *e.coli* han sido ingeniadas para manufacturar un polímero biodegradable, el “polihydroxybutylate”, el cual puede ser competitivo con algunos plásticos. Un acercamiento incluiría el cultivo de especies de plantas metabólicamente ingeniadas para producir este compuesto en una mayor escala. Si en las plantas se coaccionara este polímero como el 11-12% de su total de masa, el proceso representaría una alternativa viable económica y ambientalmente a la producción actual de plásticos.

En el futuro, los ingenieros químicos también se verán involucrados en muchas más empresas de giro biomédico íntimamente relacionadas con aplicaciones para el cuidado de la salud (tales como biomateriales y dispositivos para la regeneración de tejido), terapias moleculares (para la cura de heridas, cáncer y enfermedades

⁷⁹ Cfr. Lauffenberger, D.A., *Cell Engineering*, Biomedical Engineering Handbook, CRC Press, USA, 1995.

inflamatorias), y terapias genéticas (para remediar varios desordenes de esta índole)⁸⁰. En todas estas áreas las aportaciones de la ingeniería química resultan útiles. La perspectiva ingenieril será aplicada para entender el funcionamiento celular así como los sistemas de mecanismos moleculares subyacentes. La función de un sistema biológico se puede cuantificar en términos de propiedades moleculares, las cuales después sirven como parámetros claves de diseño⁸¹.

Con la biotecnología aún en su infancia, recae en nuestras universidades la responsabilidad de formar una nueva generación de ingenieros químicos en los fundamentos de la biología molecular y de la ingeniería bioquímica. Sería un error que los ingenieros químicos ignoraran este campo por su relativa distancia de las tradicionales áreas de interés.

I) Las Ciencias de los Materiales

Los avances en el desarrollo de materiales, especialmente de catalizadores, son particularmente importantes para las CPI. En efecto, dado el enorme papel que los catalizadores juegan en la ingeniería de reacciones, es sorprendente que hasta hace apenas unos años no se hayan realizado amplios y variados trabajos en esta área. Después de todo, los catalizadores son clave para un rápido, limpio y rentable proceso. Un nuevo número de catalizadores están en el horizonte. Estos incluyen algunos más estables para operaciones de reformación catalítica, ejemplo de esto son nuevos materiales para producir cumeno (un intermedio petroquímico de plásticos y epóxidos) y paraxileno, así como catalizadores de “metallocene” para crear polímeros con mejor rendimiento a menor costo⁸².

⁸⁰ Cfr. Cima, L.G., Langer, R., Engineering Human Tissue, Chem. Eng. Progress, 89 (6), June, 1993.

⁸¹ Cfr. Koch, D. H., *The future: Benefiting from new tools, techniques, and teaching*, Chemical Engineering Progress, January, 1997.

⁸² Cfr. Koch, D. H., *The future: Benefiting from new tools, techniques, and teaching*, Chemical Engineering Progress, January, 1997.

Durante años pasados, importantes avances se han hecho en la tecnología de catalizadores para alquilación de isobutano en la producción de gasolina. Los métodos tradicionales han usado ácido hidrófluorhídrico o sulfúrico como catalizador para esta reacción, pero nuevas tecnologías han sido desarrolladas para hacer esta operación mucho más segura.

En conjunto, las recientes tendencias industriales sugieren que el desarrollo de catalizadores recibirá aún más énfasis. Pero, para mejorar los procesos existentes y apoyar nuevos procesos y productos, la atención deberá cambiar del empirismo al preciso entendimiento de los mecanismos de reacción involucrados, para que se puedan diseñar catalizadores que brinden nuevas y mejores condiciones de operación⁸³.

J) Enseñanza

Como siempre, la educación jugará un importante papel en la formación del futuro de la ingeniería química. Las universidades de hoy realizan un excelente trabajo en la enseñanza de la ingeniería química preparando a los estudiantes para carreras en la industria⁸⁴. A pesar de todo, es inminente el surgimiento de tres tendencias importantes⁸⁵.

La primera es la educación profesional. Exponer a los estudiantes a la práctica industrial real prevé el mejor laboratorio educacional para aprender a hacer ingeniería química mediante la resolución de problemas reales y la realización de un verdadero trabajo de equipo. Aunque algunas escuelas como en MIT han tenido programas de práctica de ingeniería química por muchos años ya, este tipo de educación enfocada a

⁸³ Cfr. Koch, D. H., *The future: Benefiting from new tools, techniques, and teaching*, Chemical Engineering Progress, January, 1997.

⁸⁴ Cfr. Krieger, J. H., *Chemical Engineering redefines itself In Era of Global Chemical Change*, *Chem & Eng. News*, 74 (34), pp. 10-18 /Aug. 19, 1996).

⁸⁵ Cfr. Koch, D. H., *The future: Benefiting from new tools, techniques, and teaching*, Chemical Engineering Progress, January, 1997.

la práctica, crece en demanda de estudiantes y empleadores. Los estudiantes aprenden a aplicar teorías y principios del salón a situaciones del mundo real donde límites como los plazos de entrega, seguridad y rentabilidad entran en escena. Al mismo tiempo, compañías patrocinadoras disfrutan de los beneficios de brillantes y energéticos estudiantes que aportan frescas ideas en la resolución de problemas. Obstaculizado en el pasado por conflictos sobre los derechos de propiedad intelectual, universidades y corporaciones ahora están martillando nuevas y creativas maneras para simultáneamente proteger derecho de propiedad de información y los resultados de investigación publicados.

La segunda tendencia es la interdisciplinariedad. Mientras el campo de la ingeniería química se abre para incluir industrias en crecimiento, educadores y estudiantes tendrán que traer experiencia y conocimiento extra a la mesa. El establecimiento de departamentos de ingeniería química con nuevos elementos de profesorado con títulos de subespecialidades en química, bioquímica, biología, materiales, y física es una práctica cada vez más común.

La tercera tendencia es el salón virtual. En los años pasados la computadora ha revolucionado la manera en que la mayoría de los negocios operan, afectando indirectamente los requerimientos educativos en los salones de clase. Muy rápidas y accesibles computadoras de escritorio así como herramientas para ingeniería química más amigables para el usuario harán posible un laboratorio químico virtual. Esto quiere decir que, además de la ya tradicional instrucción, los estudiantes de ingeniería química del futuro tienen la oportunidad de aprender y practicar el proceso ingenieril de toma de decisiones que usarán en sus carreras.

En vez de encontrar las soluciones "correctas" e "incorrectas" a un juego de problemas, los estudiantes tendrán la oportunidad de tomar un problema vagamente definido, hacer suposiciones, generar soluciones y escoger entre alternativas basadas en diferentes criterios (costo, impacto ambiental, tiempo de mercadeo). Esto, generará discusiones de clase acerca de quién tomó esas decisiones, por qué, y cuáles fueron los errores.

K) Nuevas Colaboraciones

Se debe mencionar un aspecto final del futuro de la ingeniería química: la colaboración entre compañías⁸⁶. La competencia corporativa nos tiene luchando más que nunca para hacer a las empresas sustentables y rentables. Resolver los problemas inherentes a la compañía - ya sean técnicos, logísticos, ambientales o administrativos - requieren cada vez más una mirada fuera de los terrenos reinos corporativos. La colaboración entre compañías emerge como una importante manera de combinar recursos y retroalimentar las habilidades de unos a otros para el beneficio de todos⁸⁷.

Existen varios ejemplos de este nuevo espíritu de colaboración. Estos incluyen vendedores de equipo y procesos que participan en el proceso de desarrollo para las compañías en operación; esfuerzos cooperativos entre compañías para desarrollar nuevos procesos basados en la combinación de tecnologías de propietario; y consorcios de compañías que atienden asuntos de estandarización en instrumentación, cómputo e intercambio de datos.

El AIChE ha albergado estos esfuerzos, por ejemplo, el "Center for Chemical Process Safety", el "Center of Waste Reduction Technologies" y el "Process Data Exchange Institute". Tales iniciativas de colaboración son importantes para la estabilidad a largo plazo de las CPI. Una fuerza combinada es una gran ventaja.

El futuro de la ingeniería química es brillante. Nuevas herramientas hacen las operaciones más limpias, seguras y más rentables. Nuevas tecnologías brindan nuevas oportunidades para extender las áreas de aplicación de la ingeniería química. Las innovaciones en la enseñanza reafirman que la siguiente generación de ingenieros

⁸⁶ Cfr. Koch, D. H., *The future: Benefiting from new tools, techniques, and teaching*, Chemical Engineering Progress, January, 1997.

⁸⁷ Cfr. Koch, D. H., *The future: Benefiting from new tools, techniques, and teaching*, Chemical Engineering Progress, January, 1997.

químicos estará mejor preparada que nunca para atacar los retos inminentes del futuro⁸⁸.

2. Reorientando la ingeniería química

La industria química está cambiando dramáticamente, expandiendo sus objetivos más allá de la obtención y generación de productos básicos hacia productos cada vez más especializados. Estos productos especializados requieren que las habilidades de los ingenieros químicos sean aplicadas de formas diferentes a como se aplican con las materias simples. El conjunto de habilidades específicas requeridas depende fuertemente de la complejidad del producto en particular.

Actualmente, el conjunto de las habilidades de la ingeniería química se enfocan en efectuar mejoras sustanciales a las materias primas y en la maduración hacia la producción de nuevos productos especializados⁸⁹. Los ingenieros químicos cuentan con la mejor preparación para tomar el papel del liderato en el desarrollo y comercialización de nuevos productos especializados.

También existen nuevos retos para los ingenieros químicos enfocados a las futuras necesidades inherentes a un desarrollo cada vez más sustentable de las economías globales. Los ingenieros químicos tendrán que desarrollar tecnologías a gran escala y materiales innovadores que permitan un mejor término en el ciclo de vida de estos materiales y nuevos productos.

Durante los últimos veinte años, la industria química se ha sometido a cambios enormes. El primer grupo en reconocer estos cambios estuvo constituido por los ejecutivos industriales que redireccionaron el curso y estrategia de sus compañías,

⁸⁸ National Research Council, *Frontiers in Chemical Engineering*, National Academy Press, Washington, D.C., 1998

⁸⁹ Cfr. Cussler, E. L., Savage, D. W., Middelberg, A. P. J., Kind, M., *Refocusing Chemical Engineering*. Chem. Eng. Progress, Jan. 2002. Pp. 26S-31S

haciéndolas más eficientes y cambiando sus objetivos de negocio. El segundo grupo en reconocer este imperante cambio fueron los mismos estudiantes de ingeniería química, quienes remplazaron los trabajos tradicionales que esperaban por labores de corte sustancialmente diferente pero con un alto grado de intereses inherente al desarrollo de las mismas. Finalmente, los últimos en reconocer este cambio fueron los profesores de ingeniería química, los responsables de velar por el acervo intelectual de esta disciplina⁹⁰.

En este panorama cambiante de su área, el ingeniero químico, necesita considerar cuál es el futuro de su carrera, especialmente en la concepción y la puesta en práctica de una nueva formación profesional a la altura de las necesidades⁹¹.

A) Panorama reciente de la Ingeniería Química⁹².

Para empezar, podemos beneficiarnos revisando los cambios que han sacudido a la industria química. De 1950 a 1970 la industria disfruto de un crecimiento exponencial. *DuPont* era el *Microsoft* de esa época. La industria química participaba en todo, desde la ropa hasta los juguetes de nuestros hijos. En el periodo de 1970 a 1990 la industria experimentó una enorme consolidación. Por ejemplo, el número de productores de cloruro de vinilo se redujo en un 70%, aunque la producción de este producto creció en un 700%. Este periodo fue la época dorada del diseño asistido por computadora. Gracias a esta técnica de diseño, la eficiente operación de las grandes plantas químicas fue posible.

Sin embargo, desde 1990 la industria química ha entrado a una tercera etapa. Esta etapa ha visto desaparecer pilares de la industria, como *Monsanto*, *Union Carbide* e

⁹⁰ Cfr. Cussler, E. L., Savage, D. W., Middelberg, A. P. J., Kind, M., *Refocusing Chemical Engineering*. Chem. Eng. Progress, Jan. 2002. Pp. 26S-31S

⁹¹ Ritter, S.K., *The Changing Face of Chemical Engineering*. Chem. & Eng. News. Pp 63-66. June. 2001

⁹² Cfr. Cussler, E. L., Savage, D. W., Middelberg, A. P. J., Kind, M., *Refocusing Chemical Engineering*. Chem. Eng. Progress, Jan. 2002. Pp. 26S-31S

ICI. Este periodo ha sido marcado por un cambio dramático en las vidas profesionales de los ingenieros químicos ya que el trabajo de muchos ingenieros no tendrá lugar en un futuro no muy lejano.

La influencia de la industria química ha disminuido en gran medida en los últimos años. Actualmente la compañía mejor posicionada en la clasificación de las compañías más grandes de los Estados Unidos de América, *ExxonMobil*, está en tan alta posición debido a la fusión de ambas compañías. Estas entidades, por separado no gozarían de una posición tan alta.

Este cambio de la industria química ha tenido un cambio dramático en la vida de los egresados. En los Estados Unidos de América los salarios de los ingenieros químicos sea han mantenido constantes desde 1970 (en términos constantes). Esto contrasta con la etapa comprendida entre 1950 y 1970 cuando los salarios en la industria química aumentaban significativamente en términos reales. No se trata de negar el hecho de que el salario percibido por un ingeniero químico sigue siendo alto; de hecho, continúa siendo la envidia de muchas profesiones. El objetivo de este punto consiste en señalar que una tendencia constante en los salarios es una de las señales de una industria madura. Como se muestra en la tabla 5.1, los cambios en la industria química también han conducido a alteraciones en el ambiente laboral del ingeniero químico.

Tabla 5.1 Las compañías más grandes de los Estados Unidos de América en 1979, 1999, 2010

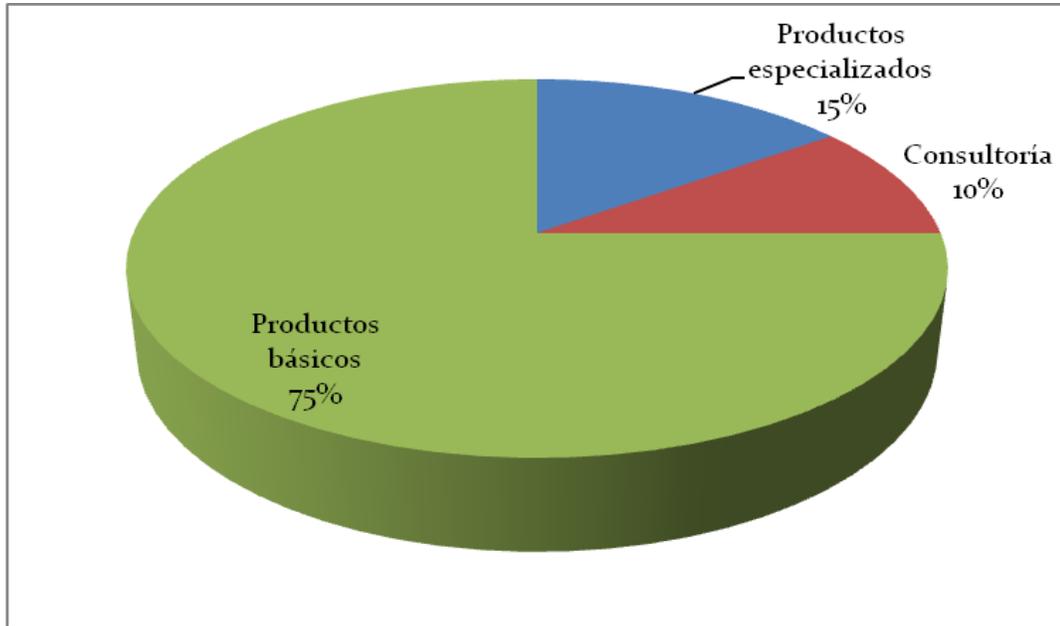
Ranking 1979	Compañía	Ranking 1999	Compañía	Ranking 2010	Compañía
1	IBM	1	Microsoft	1	Wal-Mart
2	AT&T	2	GE	2	Exxon Mobil
3	Exxon	3	Cisco	3	Chevron
4	General Motors	4	Wal-Mart	4	General Electric
5	Schlumberger	5	ExxonMobil	5	Bank of America
6	Amoco	6	Intel	6	ConocoPhillips
7	Mobil	7	Lucent	7	AT&T
8	General Electric	8	AT&T	8	Ford Motor
9	Sohio	9	IBM	9	J.P. Morgan Chase
10	Chevron	10	Citigroup	10	Hewlett - Packard
11	Atlantic Richfield	11	America Online	11	Berkshire Hathaway – P&G
12	Texaco	12	AIG	12	Citigroup
13	Eastman Kodak	13	Oracle	13	Verizon Comm.
14	Phillips Petroleum	14	Home Depot	14	McKesson
15	Gulf Oil	15	Merck	15	General Motors
16	Procter & Gamble	16	MCI WorldCom	16	AIG
17	Getty Oil	17	P&G	17	Cardinal Health
18	3M	18	Coca-Cola	18	CVS Caremark
19	DuPont	19	Dell Computer	19	Wells Fargo
20	Dow Chemical	20	Bristol-Myers Squibb	20	IBM

Fuente: Para 1979 y 1999 Cussler, E. L., Savage, D. W., Middelberg, A. P. J., Kind, M., *Refocusing Chemical Engineering*. Chem. Eng. Progress, Jan. 2002. Pp. 26S-31S.
 Para 2010 se consultó el Ranking de la revista Fortune
<http://money.cnn.com/magazines/fortune/fortune500/2010/>

El mercado laboral para los ingenieros químicos estaba dominado por el sector de productos básicos de la industria química; 75% de los egresados acudían a ésta industria, en compañías líderes como *DuPont*, *Dow*, *Exxon* y *Shell*. El otro 25 % estaba repartido en compañías productoras de pintura, productos adhesivos, electrónicos y en

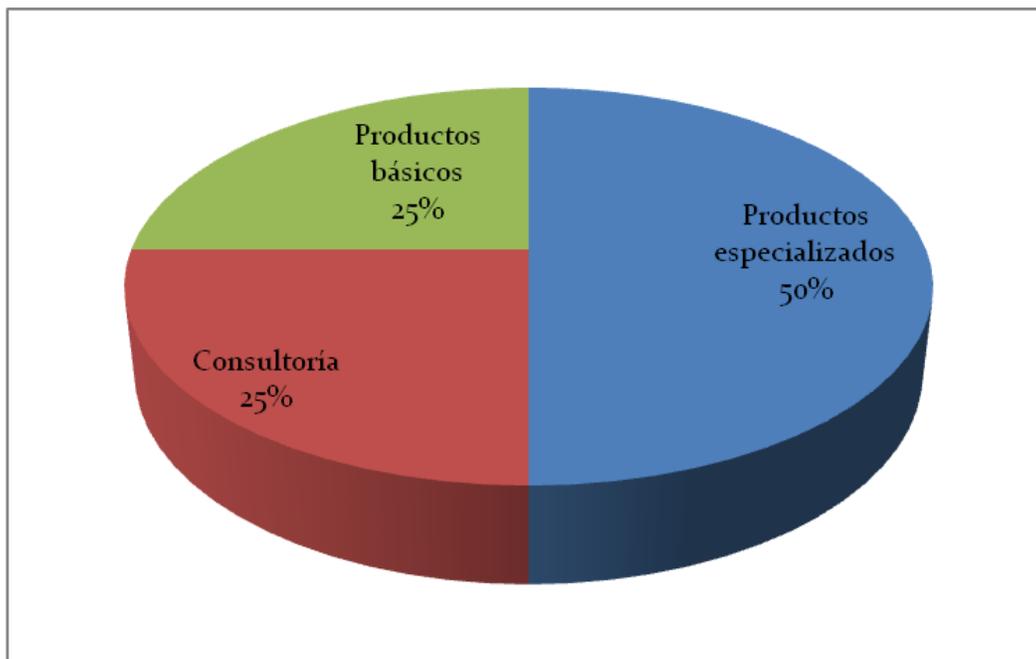
el ramo de la consultoría. En la categoría de consultoría no sólo están clasificados aquellos ingenieros consultores de tiempo completo, también se engloba en esta categoría el sector de la educación y el sector público.

Figura 5.a Carrera profesional de los ingenieros químicos en 1975



Fuente: Cussler, E. L., Savage, D. W., Middelberg, A. P. J., Kind, M., *Refocusing ChemicalEngineering*. Chem. Eng. Progress, Jan. 2002. Pp. 26S-31S

Figura 5.b Carrera profesional de los ingenieros químicos en 1995



Fuente: Cussler, E. L., Savage, D. W., Middelberg, A. P. J., Kind, M., *Refocusing ChemicalEngineering*. Chem. Eng. Progress, Jan. 2002. Pp. 26S-31S

El contraste en el periodo comprendido entre 1975 y 1995 es impactante. Las empresas empleadoras de la industria de los productos básicos en este periodo contrataron menos del 25 % de los egresados de la carrera de ingeniería química. El área de la consultoría en cambio ha crecido dramáticamente, en gran parte debido a que muchos de los servicios de ingeniería ahora son contratados fuera del núcleo empresarial. El cambio verdaderamente dramático en este periodo es el incremento en el sector involucrado con la generación de productos especializados. En los Estados Unidos de América más del 50% de los ingenieros químicos se desenvolvían en este sector.

Estos cambios en la profesión de los ingenieros químicos se deben a las necesidades futuras de las economías sustentables. Es comúnmente aceptado que el consumo presente y futuro de materiales creará cada vez más problemas globales de diversas

índoles (como la hambruna y la pobreza). También es comúnmente aceptado que el tiempo de aparición de estos problemas continúa siendo incierto. Sin embargo, en algunas áreas de nuestro planeta pueden ser observados desde ahora.

B) Panorama actual de la industria química.

Los ingenieros químicos de hoy están involucrados tanto con los productos como con los procesos de la industria química. Antes de continuar debemos profundizar en el significado del término “productos”.

Compañías como *ExxonMobil* ciertamente generan productos como el polipropileno los cuales tiene un enorme valor comercial. Cuando se describieron los cambios en el trabajo del ingeniero químico se utilizó la categoría de “productos básicos” y “productos especializados” sin una definición rigurosa. Para darle mayor profundidad a ambas categorías es necesario definir las acertadamente y describir la ingeniería que cada una de éstas implica. Eso se puede lograr mediante la respuesta de tres preguntas⁹³: ¿Cuánto se produce?, ¿Qué equipo se requiere? Y ¿quién genera más dinero?

Productos Básicos

¿Cuánto se produce? los productos básicos son comúnmente generados en cantidades mayores que 10,000 ton/año.

¿Qué equipo es requerido? los productos básicos son generados con equipo diseñado para una operación continua.

¿Quién genera más dinero? Como regla general aquel productor con el menor costo de fabricación será el que tenga mayores ganancias.

La elección de 10,000 ton/año es un consenso aproximado de la práctica en la industria química. Muchos de estos productos básicos son derivados del petróleo y son el

⁹³ Cfr. Cussler, E. L., Savage, D. W., Middelberg, A. P. J., Kind, M., *Refocusing Chemical Engineering*. Chem. Eng. Progress, Jan. 2002. Pp. 26S-31S

ejemplo clásico en los cursos actuales de ingeniería química, destacando el vasto conjunto de algunos petroquímicos como el etileno y el cloruro de vinilo.

Desde 1970 estos productos básicos son casi siempre generados en grandes plantas dedicadas a la fabricación de un solo producto. La razón de esto es que el costo de una planta química es proporcional a las dos terceras partes de su capacidad. A pesar de que las razones de esta proporcionalidad son complejas, se pueden entender mediante el argumento de que el costo de la planta es proporcional a la cantidad de acero requerido en la planta, el cual es proporcional al área superficial de los equipos de la planta, la cual a su vez es proporcional a las dos terceras partes del volumen requerido por los equipos.

Por lo tanto, la generación de productos químicos básicos requiere una gran inversión de capital. Esta es la razón por la que el capital de inversión necesario por cada empleado es más grande en esta industria que en cualquier otra. Asimismo esta es la razón del diseño de procesos continuos en esta industria. No resultaría rentable el arranque consuetudinario de la planta.

Muchos de los productos químicos básicos han sido generados durante décadas mediante el uso de tecnologías maduras. Además de esto, los productos químicos básicos están perfectamente bien definidos. Por ejemplo, no hay diferencia entre el propileno de *ExxonMobil* y el generado por *Celanese*. Esta condición da lugar a un mercado altamente competitivo.

Como resultado, estas grandes plantas químicas deben de trabajar siempre de la manera más eficiente para generar mayores ganancias económicas. Es por esto que la optimización de procesos y el control automatizado han jugado papeles sumamente importantes en la industria de los productos químicos básicos. Debido a que estos productos utilizan tecnologías maduras en un amplio pero competitivo mercado, las oportunidades de crecimiento son muy limitadas.

Productos Especializados

¿Cuánto se produce? La mayoría de estos productos son generados en cantidades menores a 10 ton/año

¿Qué equipo es requerido? Estos productos son generalmente producidos en equipos estándar en un régimen por lotes.

¿Quién gana más dinero? La compañía que lance un nuevo producto al mercado generalmente obtendrá el 70% de las ventas totales.

Las pequeñas cantidades generadas de estos productos especializados son fabricadas en procesos por lotes los cuales no operan las 24 horas del día y tampoco lo hacen los 365 días del año. Esta producción se hace generalmente por temporadas de unas cuantas semanas para su posterior almacenaje e inventario. En algunos casos extremos como en la industria farmacéutica, el inventario nunca debe exceder algunos cientos de gramos. Cuando el inventario se ve reducido, otra temporada de producción es iniciada.

Estas pequeñas cantidades de producto son generadas en equipos estándar que usualmente son utilizados para producir diferentes productos. En la industria farmacéutica, hay casos en los que el mismo equipo es utilizado en la producción de veinte diferentes productos. El equipo utilizado es generalmente un conjunto de reactores de acero inoxidable, alambiques, extractores y tanques de almacenamiento. Estos equipos no son optimizados para un producto en específico. En cambio son diseñados para tener cierta flexibilidad para diferentes requerimientos de proceso.

Estos equipos son comúnmente operados de formas muy semejantes a los experimentos de producción y descubrimiento en el laboratorio. Los reactores implicados en estos procesos tienden a ser casos análogos escalados para producciones mayores. Muchos ingenieros proponen mejoras a los procesos usuales que permitan obtener mejores conversiones o mayor eficiencia al mismo tiempo que se presenta una opción viable desde el punto de vista de la sustentabilidad.

Dichos cambios son difícilmente bienvenidos porque las complejas reacciones involucradas son difíciles de controlar. Cuando un proceso está funcionado correctamente, muchos de los ingenieros de producción mantienen una actitud renuente ante cualquier “mejora”.

Los ingenieros químicos se deben involucrar en las etapas tempranas de la definición del producto y del proceso; las propuestas de mejora deben tomar efecto antes de que el proceso esté trabajando. Sin embargo los ingenieros químicos, comprometidos con su causa, deberán reconocer que las bases del avance competitivo son diferentes en la manufactura de las diferentes especialidades químicas; la rapidez, no el costo, es generalmente es el principal conductor hacia una ventaja competitiva.

Mientras ésta condición conduce a cierto desperdicio inevitable, la ineficiencia en la manufactura de los productos especializados puede ser tolerada en cierto grado que sería inaceptable en la manufactura de productos básicos.

Los productos químicos especializados tienen márgenes de ganancia mucho más altos, cientos de puntos porcentuales vs. decenas de puntos porcentuales de los productos básicos. La diferencia entre los productos especializados y los productos básicos conducen a diferentes maneras de aplicar las habilidades ingenieriles. En algunos casos nuevas habilidades y conocimientos son requeridos mientras que en otros casos se deben conservar los viejos paradigmas. Claramente la adición de nuevas habilidades y conocimientos implica la remoción de algunos de los contenidos existentes en los cursos de formación de los ingenieros químicos.

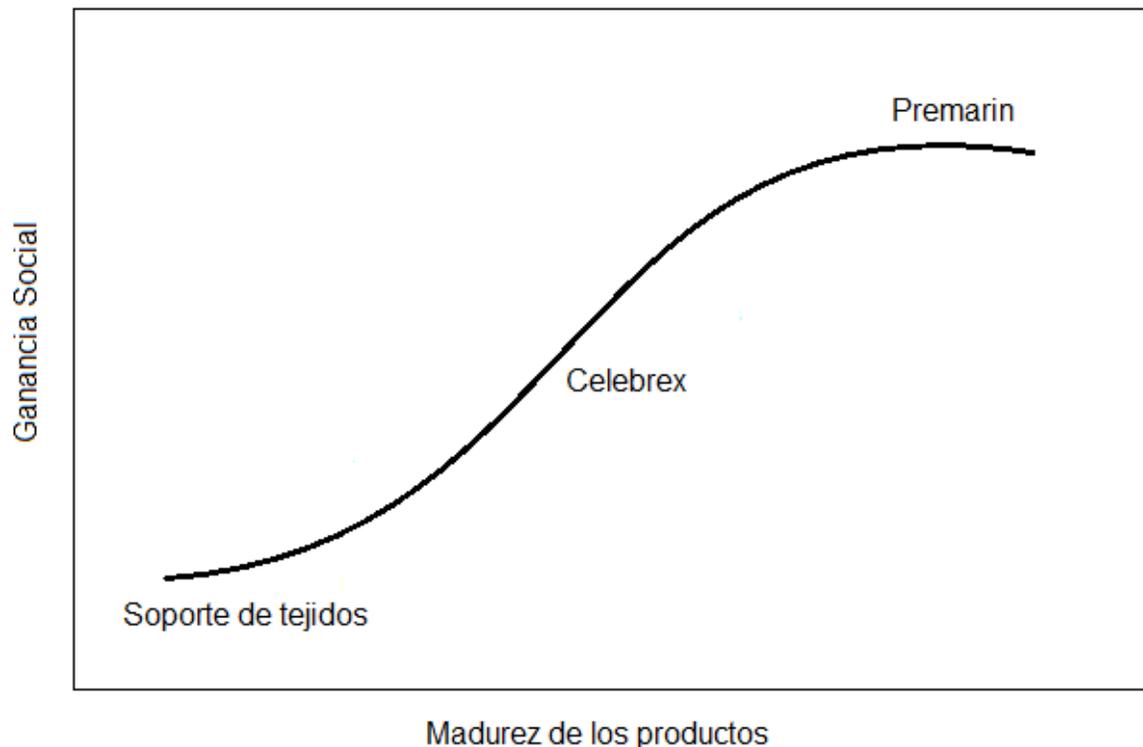
La combinación de diferentes ventajas competitivas para alcanzar condiciones de proceso más eficientes y costos cada vez menores implica la necesidad de diferentes corrientes y especializaciones de la ingeniería química.

C) Productos diferentes requieren habilidades diferentes

En esta situación, se debe lanzar la pregunta correspondiente a la determinación de las habilidades del ingeniero químico que serán requeridas por la industria química en el

futuro. Una manera de descifrarlo es usar “curvas-s”, como la mostrada en la figura 5.1. En tal curva-s, se grafica la ganancia social de un producto vs. la madurez del producto⁹⁴. El término "ganancia social" se refiere no sólo a los beneficios obtenidos por la compañía, sino también a la mejora continua en el bienestar de una sociedad en todos los ámbitos que la abarcan.

Figura 5.c Ganancia Social vs. Madurez de los productos



Fuente: Cussler, E. L., Savage, D. W., Middelberg, A. P. J., Kind, M., *Refocusing Chemical Engineering*. Chem. Eng. Progress, Jan. 2002. Pp. 26S-31S

La figura 5.c señala claramente que la ganancia social dependerá dramáticamente de la madurez del producto. Cuando un producto es completamente inmaduro, es necesaria la realización de un enorme esfuerzo a cambio de una ganancia social pequeña. En la medida en la que un producto esté en fase de maduración la ganancia social que este producto implica aumentará considerablemente. Cuando un producto

⁹⁴ Cfr. Cussler, E. L., Savage, D. W., Middelberg, A. P. J., Kind, M., *Refocusing Chemical Engineering*. Chem. Eng. Progress, Jan. 2002. Pp. 26S-31S

está completamente maduro, la ganancia social es limitada una vez más, aunque las oportunidades de negocio continúen siendo substanciales. Estas tres etapas de madurez se encuentran vívidamente representadas en los estudios de tres productos: el medicamento “Premarin”, el medicamento “Celebrex” y los materiales de medicamento de tejidos.

El Premarin es un extracto de orina de yeguas preñadas que se consume para el tratamiento de los síntomas de la menopausia. El proceso para la creación del Premarin, el cual se describe en patentes que expiraron hace más de veinte años, involucra la secuencia de generación utilizada para muchos medicamentos de materia prima de corte biológico. Este proceso de cuatro pasos empieza con la remoción de componentes insolubles, generalmente por filtración continuando con procedimientos que aumentan a la concentración de componentes activos en la materia prima biológica; estos pasos dependen extracciones de líquido-líquido. El tercer paso consiste en una purificación que a menudo involucra absorción, aunque en el caso del Premarin, este viejo proceso utiliza técnicas de lavado con solventes. Finalmente el proceso involucra operaciones como la cristalización o el secado.

Tal proceso depende de operaciones unitarias que son de conocimiento común para cualquier ingeniero químico. La producción del Premarin no está limitada por técnicas de ingeniería química desconocidas o en desarrollo, y su éxito depende de la eficiencia o el bajo costo en la preparación del extracto.

El desarrollo de la medicamento Celebrex, un medicamento antiartrítico, también requiere el uso técnicas estándar de la ingeniería química, pero de forma que aumenten la capacidad de producción, no la eficiencia. Después de todo, cada día que se puedan ahorrar en desarrollo implica aumento en la utilidad generada por las ventas de dicha medicamento. El desafío que representa Celebrex para la ingeniería química consiste en producir suficientes medicamentos para estudios clínicos, y en segundo lugar, en extender la producción de Celebrex para la etapa comercialización. Por otra parte, la “*Food & Drug Administration*” (FDA, por sus siglas en inglés) insiste en que el proceso utilizado para la producción de medicamentos para ensayos clínicos no debe

ser alterado significativamente para la producción del medicamento en etapas de comercialización. Esto quiere decir que existen medidas de precaución regulatorias de la mano con el desarrollo de las futuras técnicas y procesos de la ingeniería química.

El tercer ejemplo presentado es el desarrollo de nuevos materiales para facilitar el crecimiento de tejido humano regenerativo. Tal andamiaje de tejido se podría aplicar para quemaduras permitiendo el crecimiento de nuevas capas de carne viva. Esto podría permitir el crecimiento de un nuevo hígado para reemplazar uno que ya no sirva. Después de que el nuevo tejido crezca, el producto de andamiaje de tejido se erosionará, dejando sólo el nuevo tejido. Las habilidades requeridas para desarrollar tales materiales todavía no son claras, aunque dependerán ambas de la biotecnología y la ciencia de polímeros.

D) Habilidades disponibles actualmente

Hoy en día es posible considerar habilidades que ya que están disponibles para los químicos y los ingenieros químicos bajo los mismos criterios. Estos criterios están convenientemente representados por otra curva-s, esta vez, graficando ganancia social vs madurez de las ideas⁹⁵.

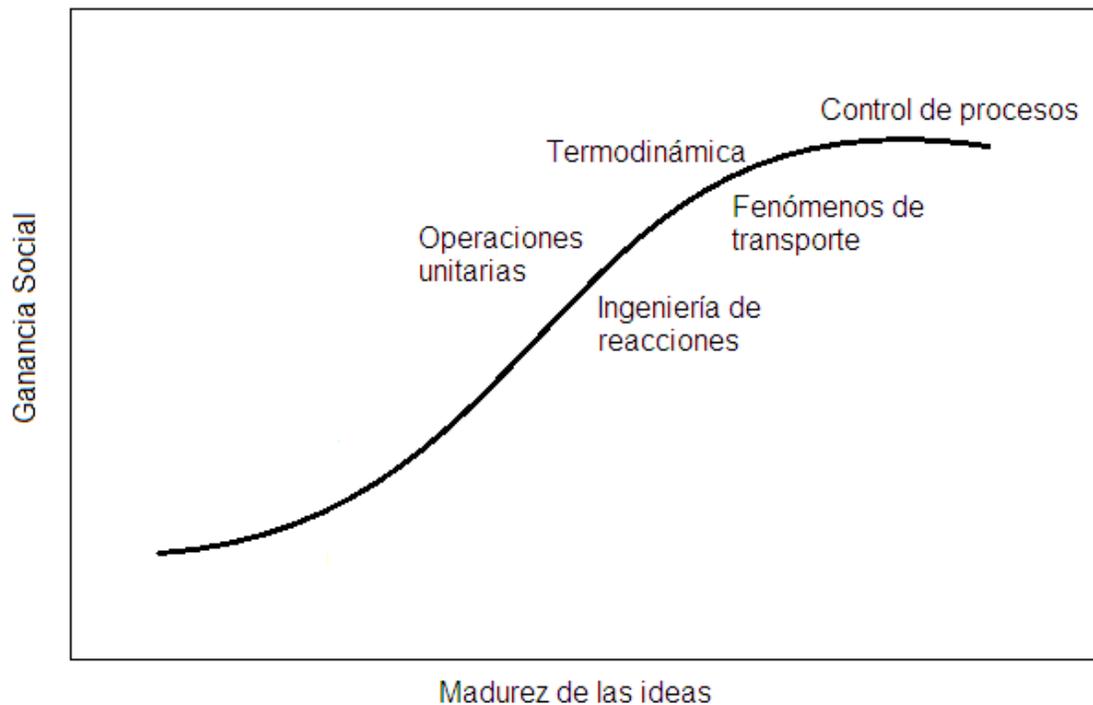
Cuando las ideas son nuevas e inmaduras, se necesitará un enorme esfuerzo para alcanzar una pequeña cantidad de ganancia intelectual. Cuando las ideas se están desarrollando rápidamente como se desarrollan con el actual software, podemos obtener una mayor ganancia intelectual con un esfuerzo modesto. Mientras estas ideas maduran, se necesitará otra vez un mayor esfuerzo intelectual para obtener una ganancia intelectual modesta.

Las ideas y concepciones básicas de la ingeniería química están graficadas en la figura 5.d, estas ideas incluyen la ingeniería de reacciones y las operaciones unitarias, ideas que ahora son maduras, que requieren un esfuerzo considerable para obtener ganancias sociales mínimas. Estas ideas son más apropiadas para un medicamento

⁹⁵ Cfr. Cussler, E. L., Savage, D. W., Middelberg, A. P. J., Kind, M., *Refocusing Chemical Engineering*. Chem. Eng. Progress, Jan. 2002. Pp. 26S-31S

genérico como el Premarin y menos apropiadas para nuevos productos como el andamiaje de tejidos. Sin embargo, estas ideas y concepciones de la ingeniería química, son útiles para la generación de un nuevo medicamento como el Celebrex ya que hacen posible su rápido y eficiente desarrollo.

Figura 5.d Ganancia social vs. Madurez de las ideas



Fuente: Cussler, E. L., Savage, D. W., Middelberg, A. P. J., Kind, M., *Refocusing Chemical Engineering*. Chem. Eng. Progress, Jan. 2002. Pp. 26S-31S

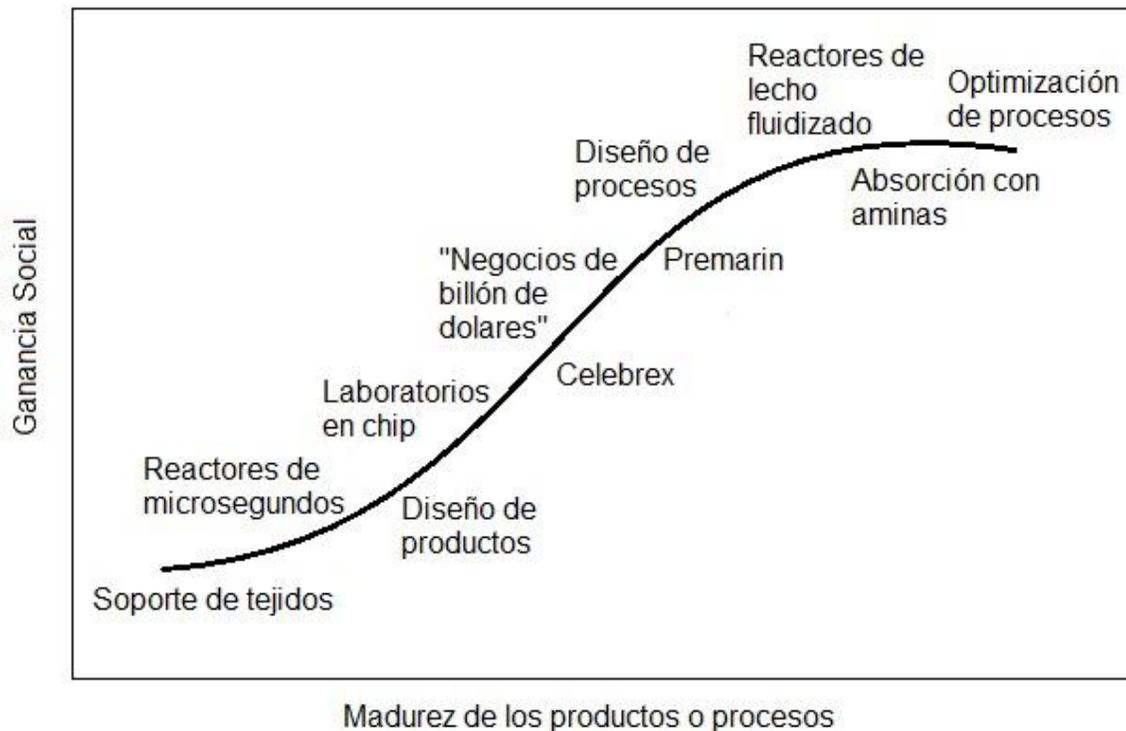
El hecho de que tantas de nuestras ideas y concepciones dentro del marco de la ingeniería química estén presentes en el desarrollo y generación de diversos productos maduros es un sensible legado del origen de esta disciplina en las primeras industrias de proceso. El ingeniero químico aún se encuentra en excelentes condiciones para desarrollar sus labores dentro de la industria química. Pero a medida que esta industria continúe creciendo y evolucionando, el paradigma clásico del ingeniero químico se encontrará en riesgo. Actualmente existen algunas ideas organizadas que se ajustan al desarrollo y generación de nuevos productos. Sin embargo el ingeniero químico continúa estando menos preocupado por los nuevos productos que se están

desarrollando rápidamente que por los que aún no han comenzado un rápido desarrollo. Para encontrar nuevos productos, es necesario sentar bases intelectuales más amplias e innovadoras.

E) Las Nuevas Habilidades del Ingeniero Químico

De ninguna manera se pueden tomar las nuevas ideas y concepciones de la ingeniería química como los rumbos definitorios del futuro de esta disciplina sin un análisis previo. Para identificar aquellas que lo son, o lo serán, se clasifican algunas de estas ideas en la figura 5. Nuevamente estas ideas son presentadas en un curva-s, graficando la madurez el producto contra la ganancia social que implica.

Figura 5.e Ganancia Social vs. Madurez de los productos o procesos



Fuente: Cussler, E. L., Savage, D. W., Middelberg, A. P. J., Kind, M., *Refocusing Chemical Engineering*. Chem. Eng. Progress, Jan. 2002. Pp. 26S-31S

Los elementos presentados en esta figura varían desde extensiones de procesos perfectamente caracterizados hasta ideas que aún no han iniciado sus primeras fases de desarrollo⁹⁶. Por ejemplo, los reactores de lecho fluidizado son una tecnología con cincuenta años de antigüedad, estos han sido el objeto de arduo trabajo por parte de cientos de ingenieros durante muchos años. En contraste, la construcción de un laboratorio químico entero en un “chip” representa un intrigante concepto con ámbitos de aplicación aún no probados. Semejante idea puede ser solo un brillo en los ojos de algunos profesores e investigadores.

Para lograr comprender las diferencias entre estas ideas y concepciones aplicadas en productos con cierto grado de madurez se analizan tres ejemplos: la absorción con aminas, “el negocio del billón de dólares” y los reactores de microsegundos⁹⁷. La absorción con aminas es un excelente ejemplo de ingeniería química convencional. Los gases de proceso comúnmente contienen ciertas cantidades de dióxido de carbono y compuestos de azufre que deben ser removidos antes del procesamiento de la corriente gaseosa para cumplir con los requerimientos ambientales del proceso en particular. La técnica estándar de tratamiento a estos gases es la absorción. Sin embargo, la absorción de estos gases en agua es una operación muy lenta para ser considerada como una opción práctica. La absorción de estos gases en soluciones acuosas ricas en aminas es la alternativa más común para la mayoría de los ingenieros químicos.

El problema es que algunas de las impurezas en el gas de proceso reaccionan irreversiblemente con la solución de aminas dando lugar a sales térmicamente estables. Estas sales no pueden ser fácilmente regenerables mediante el calentamiento de las soluciones de aminas. En este caso, la nueva habilidad es una técnica patentada de intercambio iónico que permite la regeneración y el reúso de la solución de aminas.

⁹⁶ Cfr. Cussler, E. L., Savage, D. W., Middelberg, A. P. J., Kind, M., *Refocusing Chemical Engineering*. Chem. Eng. Progress, Jan. 2002. Pp. 26S-31S

⁹⁷ Cfr. Cussler, E. L., Savage, D. W., Middelberg, A. P. J., Kind, M., *Refocusing Chemical Engineering*. Chem. Eng. Progress, Jan. 2002. Pp. 26S-31S

Esta técnica es desarrollada por *MPR Inc.*, una pequeña compañía que provee valiosos servicios al enorme sector de compañías generadoras de productos químicos básicos. El proceso de este ejemplo puede ser fácilmente comprendido; la implementación de esta tecnología de propietario representa una oportunidad de negocio sustancial donde el producto involucrado es el conocimiento especializado requerido por el cliente, el cual es económicamente factible de adquirir en lugar de que cada cliente desarrolle este conocimiento por su propia cuenta.

La segunda idea está descrita como “el negocio del billón de dólares”. Este concepto fue introducido por un ingeniero de *General Electric (GE)*, por sus siglas en inglés). Este concepto se caracteriza por su modelo de negocio, el cual consiste en la adquisición o desarrollo continuo de dichos negocios. Sin embargo uno se puede preguntar ¿Cuál es la sorpresa? Esto se hace en muchos sectores de la industria desde hace mucho tiempo.

La diferencia es que ahora *GE* no espera que estas oportunidades de negocio provengan de nuevos usos o productos que la compañía posea o que provengan de los propios esfuerzos de la compañía en materia de investigación y desarrollo. Si las oportunidades de negocio provienen de estas fuentes dentro de la misma compañía, maravilloso; pero en general *GE* espera invertir grandes sumas de capital fuera de la estructura interna de la compañía. Si *GE* materializa dichas inversiones, esta compañía estará más interesada en el desarrollo de nuevos productos que en el desarrollo de procesos existentes. Los ingenieros químicos comúnmente suelen prescindir del desarrollo de nuevos productos para centrarse en el desarrollo y mejora de los procesos existentes. Esto no está del todo mal, sin embargo, no se debe descuidar ninguna de estas áreas para afrontar con éxito los retos futuros de la ingeniería química.

El tercer ejemplo es el de los reactores químicos de microsegundos. Estos son reactores en los cuales el tiempo de residencia es del orden de cientos de microsegundos, o menos. Uno de los logros de estos reactores, a escala de laboratorio, consiste en la conversión del metano en algunos productos líquidos como el metanol.

Así, estos reactores pueden facilitar el transporte y envío de gas natural desde lugares remotos donde el gas es descubierto, para convertirlas en áreas de alta densidad de población y con grandes oportunidades de desarrollo.

Estos reactores, son esencialmente, sistemas pequeños de explosión controlada, generalmente requieren un agente catalítico y operan a presión atmosférica alcanzando temperaturas cercanas a los 2000 K en longitudes menores a un centímetro. Hacer que estos reactores operen de forma segura será un gran reto de ingeniería, un reto raramente discutido en la academia y la investigación de la ingeniería química.

Las habilidades que requiere un ingeniero químico, así como su forma de pensar deben cambiar gradualmente para enfrentar los grandes retos del futuro. Asimismo, cualquier cambio probable en estos aspectos es responsabilidad propia del sistema educativo creador de los ingenieros químicos de las próximas generaciones⁹⁸. No existe un consenso general sobre los cambios que se requieren. Sin embargo, existe un consenso por la necesidad de un cambio en el paradigma y concepción de la ingeniería química.

Se ha identificado material que debería ser incluido en los cursos de enseñanza de ingeniería química. Existe una clara necesidad de incluir la enseñanza y la práctica en materia de diseño, entendiéndose específicamente en este renglón la síntesis de nuevos productos y procesos haciendo uso del conocimiento adquirido en los cursos tempranos de ciencias básicas e inclusive en la formación académica previa a los estudios universitarios⁹⁹. Además, algunas de las ideas principales de sustentabilidad dentro de las principales actividades de la ingeniería química deben ser discutidas. Un

⁹⁸ Cfr. Lagowski, J.J., *Viewpoints: Chemist on Chemistry. Chemical Education: Past, Present and Future*, Journal of Chemical Education, Vol. 75, N° 4, April 1998

⁹⁹ Cfr. Lagowski, J.J., *Viewpoints: Chemist on Chemistry. Chemical Education: Past, Present and Future*, Journal of Chemical Education, Vol. 75, N° 4, April 1998

curso introductorio dará a los estudiantes una razón para estudiar más adelante el flujo de fluidos, la ingeniería de las reacciones químicas y la termodinámica.

Otra necesidad clara que poco a poco se ha empezado a cubrir en muchas universidades alrededor del mundo es la adición de cursos en el área de la ciencia de materiales, incluyendo polímeros y biopolímeros además de una ampliación en el currículum que permita un mayor contacto del estudiante con la bioquímica y la biología celular¹⁰⁰.

En un previsible futuro, la salud personal se verá fundamentalmente afectada por la ingeniería química ya que el rápido desarrollo y comercialización de los medicamentos generados por la industria farmacéutica serán factores en gran parte determinados por las habilidades y conocimientos de los ingenieros químicos del mañana. Las tecnologías que desarrollen las proximas generaciones de ingenieros químicos que ayuden al establecimiento de un futuro sustentable y económicamente viable debido a que el ingeniero químico que desarrolle estas tecnologías contará con preparación académica en el desarrollo de negocios potencializando así sus capacidades y conocimientos para el despliegue y desarrollo de nuevos productos y procesos¹⁰¹.

La introducción del nuevo material académico, inevitablemente, necesitará un estudio de los cursos existentes para evitar la sobrecarga de los estudiantes. Aquí se identifican diferentes áreas donde el material podrá ser removido, estas declaraciones de calificación o descalificación en el currículum de la enseñanza de ingeniería química implica el recordatorio de que las diferencias internacionales hacen difícil la generalización para todos los casos particulares de las escuelas encargadas del magisterio en la enseñanza de esta disciplina.

¹⁰⁰ Cfr. Lagowski, J.J., *Viewpoints: Chemist on Chemistry. Chemical Education: Past, Present and Future*, Journal of Chemical Education, Vol. 75, N° 4, April 1998

¹⁰¹ Cfr. Cussler, E. L., Savage, D. W., Middelberg, A. P. J., Kind, M., *Refocusing Chemical Engineering*. Chem. Eng. Progress, Jan. 2002. Pp. 26S-31S

En primer lugar, se identifica un margen para reducir la enseñanza de la termodinámica. Esta rama de la fisicoquímica es ciertamente un componente esencial de la ingeniería química, pero se considera que está sobre-enseñada, pues los estudiantes raramente la aprenden en la primera vez que es presentada. Se debe estar dispuesto a esperar que los propios estudiantes busquen dominar los aspectos de la termodinámica que no sean aprendidos la primera vez, al igual que debería ocurrir con ciertos aspectos de transferencia de masa¹⁰². Ambas ramas requieren de estudios de posgrado que permitan alcanzar un enfoque de especialidad en el dominio de ambas materias. Sólo así se tendrá la certeza de que los estudiantes de ingeniería química tendrán una formación menos amplia en estas materias, pero de gran calidad. Lo cual dejará la puerta abierta a la consecución de la obtención de mayores conocimientos en años posteriores a los estudios de licenciatura.

Existe ciertamente un deseo de evitar el sacrificio en el desarrollo de las habilidades técnicas centrales en las que se especializa el ingeniero químico que no permite el desarrollo de las habilidades en materia de negocios que puede adquirir un estudiante de ingeniería química, sin embargo es de reconocerse que el futuro del ingeniero químico estará en gran parte presente en áreas donde diferentes habilidades y especializaciones serán requeridas.

También se propone una ampliación en el temario de los cursos relativos al control y a la optimización de procesos. Es de aceptarse la importancia en la optimización de procesos para la industria de los productos químicos básicos, además debe reconocerse que el control de procesos juega un papel clave en el aseguramiento del éxito hacia el aprovechamiento de las ventajas competitivas en la generación de productos químicos especializados; seguridad, calidad y obtención de resultados.

¹⁰² Cfr. Cussler, E. L., Savage, D. W., Middelberg, A. P. J., Kind, M., *Refocusing Chemical Engineering*. Chem. Eng. Progress, Jan. 2002. Pp. 26S-31S

Los cambios deben ser aplicados con cautela, sería preocupante que rápidamente se convirtieran en parte de la formación de cada ingeniero químico¹⁰³. Tal vez estos cambios deben de representar nuevos y separados senderos dentro de la ingeniería química, donde la “especialidad” y la “sustentabilidad” sean opciones paralelas que conduzcan hacia la nueva concepción y los nuevos paradigmas de la ingeniería química. Representaría un gran avance el hecho de que estas ideas fueran adoptadas por algunos departamentos académicos, pero desestimadas por otros.

La inclusión de estas nuevas opciones y caminos estimulará un renovado interés en la ingeniería química por parte de los estudiantes y profesores en la medida en que el impacto social de la profesión se vea enfatizado y materializado.

Al mismo tiempo, los ingenieros químicos deben aceptar el hecho de que el cambio constante en la industria química implica que las habilidades que se requieran por parte de los ingenieros químicos también deberán cambiar. Es pues la búsqueda de estas nuevas habilidades lo que requiere una reorientación de la ingeniería química que permita enfrentar los retos y aprovechar las oportunidades que se presentarán en el futuro.

3. Perspectiva Global De La Ingeniería Química

La ingeniería química es una profesión en espera. Situada en un mundo que en los años recientes ha estado inundado en múltiples cambios – de tipo tecnológico, económico, político y social – la ingeniería química ha realizado diversos esfuerzos en contra de la imagen y concepción original de esta carrera. De hecho, los líderes de esta disciplina han anhelado el surgimiento de un nuevo arquetipo que se adecue a las necesidades modernas de la ingeniería química actual desde un punto de vista profesional e intelectual que pueda afrontar los retos que implica un mundo tan cambiante como el de hoy en día.

¹⁰³ Cfr. Cussler, E. L., Savage, D. W., Middelberg, A. P. J., Kind, M., *Refocusing Chemical Engineering*. Chem. Eng. Progress, Jan. 2002. Pp. 26S-31S

Esta espera puede estar acercándose a su final. Aunque el camino a seguir es todavía bastante confuso, ya se esbozan algunas ideas que nos indican hacia donde se puede dirigir la ingeniería química. Estas ideas fueron particularmente evidenciadas en el 5to Congreso Mundial de Ingeniería Química en San Diego¹⁰⁴.

El Congreso Mundial de Ingeniería Química, que tiene lugar cada cinco años, está auspiciado por la Conferederación Interamericana de Ingeniería química, la federación Europea de Ingeniería Química, y la Confederación de Ingeniería Química de Asia y el Pacífico, todos éstos convocados por el AIChE, reuniendo a más de 1800 asistentes de cerca de cincuenta naciones alrededor del mundo.

Con su enfoque internacional, este congreso mundial es uno de los pocos foros que pueden proveer de una perspectiva global de esta disciplina. En el caso de San Diego en 1996, la conferencia reflejó la evolución multidimensional de la ingeniería química en respuesta a un mundo multidimensional y dinámico como lo reflejó en sus palabras de Alfred E. Wechsler¹⁰⁵, vicepresidente de Arthur D. Little Inc.:

“Los ingenieros químicos hemos de quedar anclados al desarrollo tecnológico. Creamos tecnologías, las incrustamos en productos y procesos y las retiramos cuando surgen otras nuevas a lo largo de los años. Estas tecnologías son esenciales para la creación de nuevos productos y procesos que aseguren el progreso de nuestra base industrial en un mundo que está cambiando siempre - política, económica y socialmente-en el comercio, la educación, los reglamentos y las empresas. Así como las tecnologías con las que trabajamos están evolucionando, también lo está haciendo el papel que desempeña el ingeniero químico”

¹⁰⁴Cfr. Krieger, J. H., *Chemical Engineering redefines itself In Era of Global Chemical Change*, *Chem & Eng. News*, 74 (34), pp. 10-18. Aug. 19, 1996.

¹⁰⁵ Krieger, J. H., *Chemical Engineering redefines itself In Era of Global Chemical Change*, *Chem & Eng. News*, 74 (34), pp. 10-18. Aug. 19, 1996.

Wechsler señaló que una de las características más importantes del mundo cambiante es la aceleración de la globalización en los negocios y los requerimientos tecnológicos. Este hecho, a su vez, hace que las oportunidades disponibles a nivel mundial para los profesionales de la ingeniería química, desde la investigación y el desarrollo, hasta la gestión y consultoría, en las industrias tradicionales y no tradicionales, tengan un futuro prometedor.

Con dichas oportunidades, también se plantean ciertos desafíos para los profesionales de la ingeniería química. Estos retos son esencialmente los mismos a los que se enfrentan las organizaciones en que trabajan los ingenieros químicos de hoy, y por supuesto, del mañana¹⁰⁶:

- ¿Cómo llevar a cabo la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías efectivamente y rápidamente, su integración en búsqueda de más y mejores productos rentables con un mínimo de recursos o gastos innecesarios de fondos públicos o privados?
- ¿Cómo compartir y transferir tecnologías dentro y fuera de las industrias de manera rápida y eficaz sin poner en peligro los derechos de propiedad industrial, recompensando a las organizaciones que realizan inversión en tecnología?
- ¿Cómo mejorar y hacer crecer a las empresas evitando el agotamiento de los recursos naturales a medida que las empresas producen más, comercializan más y desarrollan más productos para ponerlos a disposición de cualquier persona?
- ¿Cómo compartir efectivamente la riqueza de información y datos que se están creando cada día en las universidades, laboratorios de investigación y plantas químicas?
- ¿Cómo transferir el conocimiento de la salud, la seguridad y las tecnologías ambientales en beneficio de todos?

¹⁰⁶ Cfr. Krieger, J. H., *Chemical Engineering redefines itself In Era of Global Chemical Change*, *Chem & Eng. News*, 74 (34), pp. 10-18 Aug. 19, 1996.

- ¿Cómo crear una fuerza de trabajo mundial, movilizar a la gente de un lugar a otro, de la actividad de educación al empleo? Ya que la mejor forma de transferir conocimientos y tecnología es a través de la gente.
- ¿Cómo tener una exitosa carrera y la seguridad financiera como ingeniero químico, mientras se trabaja para varias organizaciones, tal vez en diferentes países, durante esta carrera?

En el mundo real, estos desafíos y sus respuestas han desestabilizado las ideas tradicionales de lo que la ingeniería química es. Esto ha llevado a algunos ingenieros químicos a reexaminar la práctica de esta disciplina desde otros puntos de vista. En el proceso, están ayudando a conceptualizar un nuevo paradigma para la ingeniería química.

En el quinto Congreso Mundial de Ingeniería Química, el futuro de esta profesión fue discutido.¹⁰⁷ Muchas opiniones fueron discutidas y analizadas hasta alcanzar tintes más allá de los atendidos en materia de ingeniería. Es claro que muchas de estas cuestiones a micro escala que están pendientes por atender son problemas de la física, la química o la biología, sin embargo el ingeniero químico ha desempeñado un papel determinante en la visión de dichas interrogantes. Pero el ingeniero químico no debe olvidar que forma parte del equipo asignado para encontrar respuestas a problemas tangibles y cotidianos de ingeniería y diseño tecnológico, nunca se debe olvidar de que el ingeniero químico es en esencia un “solucionador de problemas”.

Hay muchos problemas de los cuales la sociedad espera una respuesta por parte de la ingeniería química – en materia ambiental, de la biotecnología, catálisis, polímeros y materiales, biomedicina, energía renovable, calidad y control de procesos – Sin embargo, estas investigaciones requieren primero de un químico, un físico, un biólogo o un médico, para que luego un ingeniero químico traslade estas soluciones a micro escala en iniciativas económicamente viables para la sociedad y la industria.

¹⁰⁷ Cfr. Krieger, J. H., *Chemical Engineering redefines itself In Era of Global Chemical Change*, *Chem & Eng. News*, 74 (34), pp. 10-18. Aug. 19, 1996.

La colaboración del ingeniero químico con científicos y profesionales de otras áreas es y será siempre mucho más productiva para ambos sectores. Esto no cambiará en el futuro, sino que será un proceso intrínsecamente ligado a la investigación y el desarrollo en diversos sectores de importancia compartida por estas disciplinas. Además este fenómeno se verá necesariamente intensificado por fenómenos sociales a los cuales la ciencia y la tecnología no pueden ni deben ser ajenos, el ejemplo más claro es la globalización, fenómeno que se analizará más adelante desde los puntos de vista que conciernen a los intereses del ingeniero químico.

Un claro ejemplo de la influencia de los procesos de la globalización en la industria química son los programas de expatriados, en los cuales profesionistas extranjeros ocupan plazas temporales dentro de la industria, permitiendo el enriquecimiento mutuo por parte del empleado (como una experiencia enriquecedora desde el punto de vista laboral y personal) y de parte de la empresa (ya que el profesionista que llega a la empresa reúne el perfil adecuado para cumplir con las necesidades de la empresa y enriquecer la planta laboral hasta el punto de la impartición de entrenamiento que permita desarrollar las habilidades y capacidades de otros empleados nacionales a través de la transmisión de conocimiento por parte del empleado expatriado).

Desafortunadamente, los profesionales de la química (como el resto de los profesionistas), encuentran hoy en día una creciente y continua dificultad para materializar una de estas posiciones internacionales desde un punto de vista lucrativo y enriquecedor para su carrera, debido a la recesión global que el mundo está experimentando. Además aquellos que se encuentran actualmente ocupando una de estas posiciones se han encontrado con reducciones en el salario y las prestaciones, así como con menores oportunidades de renovar los tiempos de estancia en este tipo de experiencias laborales¹⁰⁸.

Lo anterior implica que a pesar de que muchas compañías reconocen que las asignaciones internacionales representan atribuciones críticas para su negocio,

¹⁰⁸ Cfr. Ainsworth, S.J., *Expatriate Programs*, *Chem. & News.*, Apr. 6, 2009 pp. 41-43

necesitan recortar “gastos poco necesarios” de sus programas internacionales, de la misma forma en la que han reducido otros costos y posiciones laborales a través de las diferentes facetas y sectores dentro del negocio.

En su intento por mejorar la eficiencia de los programas internacionales, muchas empresas necesitan crear o reforzar políticas que permitan aprovechar los conocimientos y la experiencia que sus expatriados pueden regresar a su país natal después de sus misiones en el extranjero. Muchas empresas todavía no establecen planes de repatriación con los empleados¹⁰⁹, ya que temen ser mal interpretadas debido a que el empleado puede esperar una promesa de un trabajo superior, en jerarquía y responsabilidad, que le permita mantener los nada despreciables beneficios que mantiene un expatriado (para él y para su familia) en el momento de la repatriación.

Sin embargo, las empresas no pueden predecir los puestos que podrían ser abiertos de tres a cinco años en el futuro. Es responsabilidad de las compañías que manden personal expatriado al extranjero analizar si pueden agregar posiciones para los empleados repatriados que permitan explotar las habilidades que se desarrollaron en la asignación internacional finalizada.

El entorno económico actual hace que sea muy importante que la existencia de un fuerte compromiso del empleador sobre la duración de una asignación internacional y, si es posible, una resolución para las posibles opciones para de reingreso al entorno nacional de la compañía, al término de la asignación.

Los avances tecnológicos y la búsqueda por mejores y más grandes accesos y flexibilidad para la educación están conduciendo hacia un crecimiento en los programas de aprendizaje a distancia. De acuerdo a informes de “Sloan Consortium”, una consultora especializada en la evaluación de servicios educativos, cerca de cuatro

¹⁰⁹ Cfr. Ainsworth, S.J., *Expatriate Programs*, *Chem. & News.*, Apr. 6, 2009 pp. 41-43

millones de estudiantes universitarios de los Estados Unidos de América tomaron una materia curricular en línea en otoño de 2007¹¹⁰.

A pesar de la creciente evidencia a favor de la educación en línea, la comunidad de la química ha sido relativamente lenta en adoptar esta forma de aprendizaje. Una de las principales razones que la gente cita es que la química es de por sí una experiencia práctica. La “*American Chemical Society*” también ha pesado en este tema: La posición de la sociedad con respecto a los laboratorios virtuales es que son un complemento útil, pero no un sustituto de la experiencia práctica de laboratorio, los registros académicos deben hacer saber si un curso de laboratorio tomado por un estudiante fue presencial o simulado por computadora. La falta de un componente práctico de laboratorio puede ser difícil de superar, pero eso no significa que la formación de la química y sus ramas, como la ingeniería química, no deben tratar de incursionar con mayor fuerza en el mundo en línea.

Sin embargo, existen muchos cursos dentro del marco de la formación química tradicional que no tienen un componente de laboratorio, por lo que también resultarían un objeto adecuado para el aprendizaje a distancia. Qué tan ampliamente se están utilizando cursos en línea en la educación química es difícil de cuantificar. Lo que está claro es que cuando se trata de la instrucción en línea, no hay una sola manera de ponerla en práctica.

Reva A. Salazar¹¹¹, una profesora de química en la “*Northern Virginia Community College*”, imparte dos cursos en línea de ciencias de la ingeniería utilizando un modelo híbrido que combina la instrucción en línea con visitas al campus para el trabajo práctico de laboratorio. Los estudiantes pueden ver sus clases a través de “streaming” de vídeo y hacer todas sus tareas y trabajos a domicilio y concursos en línea. Aunque algunas de las “prácticas” de laboratorio se pueden realizar en línea con el “software”

¹¹⁰ Wang, L., *Learning Chemistry Online*, *Chem. & News.*, Sept. 7, 2009 pp. 97-99

¹¹¹ Wang, L., *Learning Chemistry Online*, *Chem. & News.*, Sept. 7, 2009 pp. 97-99

de simulación, los estudiantes necesitan ir a la escuela tres veces por semestre para completar los créditos de laboratorio.

Otro ejemplo claro de la implementación de nuevas técnicas de educación a distancia es el programa del MIT “Open Course Ware” (OCW por sus siglas en inglés). OCW es una publicación en Internet de casi todos los contenidos de los cursos del MIT. OCW es abierto y disponible para el mundo y es una actividad permanente del MIT.

En 1999, el MIT consideró utilizar el Internet en búsqueda de la consecución de la misión de esta institución - avanzar en el conocimiento y educar a los estudiantes- y en 2000 propuso OCW¹¹². Se publicó el primer sitio de prueba de concepto en el año 2002, con cincuenta cursos, para noviembre de 2007, el MIT completó la primera publicación de prácticamente todo el programa, más de mil ochocientos cursos en treinta y tres disciplinas académicas. Desde enero del 2010 se encuentran disponibles dos mil cursos con más de cien millones de visitas al mes. De cara al futuro, el equipo de OCW proporcionará la actualización de los cursos existentes y añadirá nuevos contenidos y servicios en el sitio.

OCW representa una fuerte apuesta por las nuevas técnicas de educación a distancia, a pesar de ser un medio abierto que aún no acredita a aquellos que toman algún curso en línea, el MIT tiene grandes expectativas por este programa, como dice la Presidenta del MIT, Susan Hockfield¹¹³:

“...Todavía no se conoce todo el potencial de OCW y su impacto final sobre la educación global. Sabemos por la investigación evaluativa y por muchos miles de correos electrónicos de los usuarios que OCW ha mejorado la educación a distancia y ha generando nuevas oportunidades diferentes personas alrededor del mundo. Esperamos

¹¹² Sitio oficial del Open Course Ware del MIT <http://ocw.mit.edu/index.htm>

¹¹³ Mensaje oficial de la Presidenta del MIT, Susan Hockfield en el Sitio oficial del Open Course Ware del MIT <http://ocw.mit.edu/about/presidents-message/>

que este impacto continúe creciendo de la forma que ya hemos visto y en formas que aún no hayamos imaginado.

No hay límite al poder de la mente. Recomendamos que utilice OCW para aprender de él y construir sobre él. El participar en esta iniciativa de colaboración no es sólo para perseguir intereses académicos personales, sino para aprovechar los conocimientos que se obtienen y que nos permitirán hacer de nuestro mundo un lugar mejor. En el espíritu de intercambio abierto de conocimiento, también animamos a compartir experiencias con otras personas, mientras cientos de universidades ya están haciendo eco de las nuevas formas de transmisión de conocimiento...”

Muchos maestros de química y de sus ramas afines se muestran optimistas en que el interés por aprender a través de estas herramientas seguirá creciendo. La educación a distancia, dentro del campo de acción de la química y sus ramas afines, se retrasó un poco respecto a otras áreas educacionales, simplemente porque el entusiasmo por dicha tendencia se adelantó a la tecnología disponible, pero con la nueva tecnología que está al alcance de cualquiera se va redescubriendo un gran interés en estas modalidades de educación a distancia para la formación de los nuevos profesionales de la química.

Por estas razones, el tercer paradigma de la ingeniería química, si es que este paradigma realmente existe, consiste en el acercamiento de esta profesión con las prácticas que se realizan en la industria así como con el refuerzo y consolidación de la interdisciplinariedad en los diversos campos de aplicación donde la ingeniería química se ha desarrollado desde hace muchos años.¹¹⁴

Este tercer paradigma implicará un cambio fundamental en la relación entre las universidades y los centros formadores de ingenieros químicos con la industria. Esta

¹¹⁴Cfr. Landau, R., Education: *Moving from Chemistry to Chemical Engineering and Beyond*, *Chem. Eng. Progress.*, pp. 52-65. Jan. 1997

relación plantea una serie natural de cuestionamientos para los cuales aun no existen respuestas claras y fehacientes que nos permitan asegurar el correcto rumbo rector en el futuro de la ingeniería química.

Por citar un ejemplo, es una realidad que la relación entre la industria y la universidad deberá cambiar como resultado de la presencia de compañías europeas y asiáticas (principalmente japonesas) en los Estados Unidos de América mediante la adquisición y fusión de diversas compañías y firmas de ingenierías así como la creación de sus propias filiales más allá de sus fronteras. El punto que se debe remarcar en este renglón es que la industria está en un rápido proceso de globalización desde hace ya unos años mientras se hace cada vez más evidente que las instituciones educativas en los Estados Unidos de América no necesariamente continuarán siendo tan cruciales como lo han sido a lo largo de su historia, salvo en la medida en la que generen egresados capacitados para laborar en las sucursales americanas de grandes compañías japonesas y europeas, así como personal americano para las compañías americanas que tienen filiales en el extranjero. Un ejemplo de esta situación es el hecho de que en los Estados Unidos de América no se preparan ingenieros químicos con el perfil requerido para laborar en empresas filiales de compañías japonesas, por lo que aún después de egresar de la universidad, los estudiantes americanos que trabajarán en compañías japonesas necesitarán de cierto entrenamiento para ajustar sus habilidades y capacidades al ambiente laboral japonés que tendrá que ser proporcionado por ingenieros japoneses nativos.

Las adquisiciones de compañías fuera del territorio de un país determinado habrán de promover enlaces más íntimos entre las universidades y el sector industrial para generar profesionistas que cumplan con el perfil requerido para un eficiente desempeño laboral. Pero, también debe conducir hacia una cooperación de carácter internacional entre las industrias de un país y diversas universidades alrededor del mundo, no sólo a la competencia entre las universidades de un mismo país por los escasos fondos de investigación empresarial que se generen de este vínculo así como por la exclusividad

de posiciones privilegiadas para que los estudiantes desempeñen el papel de becarios en ciertas empresas.

A pesar de estos cambios inminentes, los planes de estudio de las carreras de ingeniería química alrededor del mundo no sufrirán grandes cambios debido a que la gran mayoría de las instituciones formadoras de ingenieros químicos producen egresados que en general cumplen con las expectativas del sector industrial. Lo importante en este aspecto es que muchos de los países en desarrollo más ambiciosos (como Malasia o Brasil) buscarán fortalecer el ambiente universitario en el que se desarrollarán los futuros y potenciales profesionales de la ingeniería química. Una de las técnicas que ya se han puesto en marcha para la consecución de este objetivo consiste en la incorporación de posgraduados extranjeros dentro del magisterio de las universidades nacionales haciendo de estas instituciones verdaderos centros regionales de formación de profesionales de la ingeniería química donde los egresados desarrollan habilidades nacionales y extranjeras durante todo el proceso educativo¹¹⁵.

Un punto que se debe enfatizar en este sentido es que el fenómeno de la globalización se ha diseminado tan rápidamente que es muy probable que los Estados Unidos de América dejen de desempeñar el papel del líder indiscutible en el sector de la ingeniería química. Este aspecto, combinado con la crisis económica de los Estados Unidos de América, implica un fuerte llamado de atención a los departamentos de ingeniería química de las universidades de los Estados Unidos de América, los cuales deben enfocarse con mayor ahínco en sus programas de maestría y licenciatura induciendo el entusiasmo con el que han actuado en la formación de doctores en ingeniería química. Los departamentos que mejor se preparen para el futuro serán aquellos que combinen la rigurosa enseñanza científica de la carrera con un enlace serio y productivo con el mundo fuera de la academia, con la industria química de procesos. Partiendo de relaciones simbióticas entre la universidad, el estudiante y la industria en diferentes campos de desarrollo de la ingeniería química, como la

¹¹⁵ Landau, R., Education: *Moving from Chemistry to Chemical Engineering and Beyond*, *Chem. Eng. Progress.*, pp. 52-65. Jan. 1997

biotecnología, la catálisis, la electrónica y la ciencia de los materiales, haciendo uso de nuevas y brillantes mentes preparadas para el nuevo ambiente de colaboración entre ambos núcleos fundamentales de la ingeniería química: la escuela y la industria.

Pero, si los departamentos de ingeniería química de las universidades no se concentran en las características únicas y distintivas de la naturaleza de esta profesión, para enfocarse en la ciencia pura, se verán inevitablemente relegados al papel de “profesionistas de segunda clase” por el resto de los departamentos académicos de dichas instituciones sufriendo para atraer al profesorado adecuado, los estudiantes adecuados y los recursos financieros ideales para la búsqueda de objetivos que desde su concepción son erróneos debido a que estos objetivos no descansan sobre el perfil profesional adecuado.

Como un término descriptivo, “paradigma” es una palabra que se ha convertido en moda y se ha abusado tanto de la palabra hasta convertirla en un cliché. Pero es quizás el único término aplicable a la situación en la que la ingeniería química se encuentra en la actualidad.

Escribiendo en la revista *Chemtech*, Wei¹¹⁶ señaló que un paradigma se refiere a la constelación entera de las cosas que definen una disciplina científica o profesional y que la distinguen de otras disciplinas. Incluye un conjunto de fundamentos teóricos, comparaciones con observaciones empíricas, aplicaciones triunfales para resolver problemas importantes y temas esenciales enseñados a todos los estudiantes que ingresan a su estudio. Un paradigma especifica lo que un profesional bien preparado debe saber y define la investigación para resolver preguntas legítimas, así como el brindar soluciones legítimas a dichas preguntas.

Como se mencionó en capítulos anteriores, estas transformaciones intelectuales de la ingeniería química han tenido lugar dos veces desde el momento en el que la disciplina

¹¹⁶ Wei es el decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la Universidad de Princeton, ex presidente del departamento de ingeniería química en el MIT y ex presidente de AIChE.

surgió a fines del siglo XIX como una amalgama de ingeniería mecánica y la química tradicional. En 1915, el concepto de operaciones unitarias se propuso y se convirtió en el núcleo de la ingeniería química. Años después, en 1960, los conceptos de fenómenos de transporte y la ingeniería de las reacciones químicas surgieron. Wei y muchos otros consideran que estos son el primer y segundo paradigma de la ingeniería química.

En reconocimiento de oportunidades de investigación en ingeniería química, Villermaux¹¹⁷ sostuvo que la ingeniería química se ocupa de fenómenos que tienen lugar simultáneamente en una amplia gama de tiempos y escalas de longitud - de nanosegundos para las vibraciones moleculares hasta siglos para la destrucción de los contaminantes en el medio ambiente, de nanómetros para los átomos y las moléculas hasta miles de kilómetros para la dispersión de las emisiones a la atmósfera, por no mencionar los procesos industriales que operan en la escala de los metros y las horas.

"Los ingenieros químicos -dijo Villermaux- ahora debemos desarrollar un enfoque multiescala y multiobjetivo hacia la optimización global del proceso de producción." ¿Se encuentran disponibles todos los conceptos y herramientas necesarias para llevar a cabo estas tareas? La respuesta es no.

Existen descripciones parciales de fenómenos a escalas determinadas, por ejemplo, la química cuántica y el modelado molecular en la nanoescala, y la ingeniería de reactores y la dinámica de fluidos computacional en la mesoescala. Pero el conocimiento es más escaso en la microescala de las leyes que rigen las interfaces y los coloides y en la megaescala donde los mecanismos para la reducción de la capa de ozono o el efecto invernadero apenas comienzan a ser comprendidos.

"Cada escala corresponde a un nivel superior de organización" -explicó Villermaux-, pero no sabemos exactamente cómo establecer las leyes que rigen los fenómenos a

¹¹⁷ Cfr. Krieger, J. H., *Chemical Engineering redefines itself In Era of Global Chemical Change*, *Chem & Eng. News*, 74 (34), pp. 10-18. Aug. 19, 1996.

una escala determinada¹¹⁸, desde los de la escala anterior, sin los detalles de los niveles inferiores. Es imposible desde un punto de vista práctico para diseñar una planta, por ejemplo, partiendo de la ecuación de Schrödinger.

El problema de esta organización en niveles de complejidad creciente ha sido dirigido por los físicos. En 1982, el físico Kenneth G. Wilson, entonces en la Universidad de Cornell, recibió el Premio Nobel de Física por lo que en aplicación de la física teórica fue llamado Teoría de Renormalización de Grupos, que permitía describir el comportamiento de los puntos críticos o transiciones de fase. Wilson desarrolló un método para resolver el problema dividiéndolo en una secuencia de problemas más simples, cada uno de los cuales podrían ser resueltos.

"La aplicación de la teoría de renormalización de grupos a los sistemas a los que se enfrentan los ingenieros químicos y determinar un método para descubrir las leyes que rigen su comportamiento a niveles crecientes de organización tal vez podría constituir el tercer paradigma de la ingeniería química"¹¹⁹, sugirió Villermaux al congreso de San Diego.

Mientras tanto, cualquiera que sea el paradigma y la escala que sea involucrada en un momento dado, la práctica de la ingeniería química se está convirtiendo en infundido de todos los niveles con las consideraciones prácticas que requiere el desarrollo de la escala a la que pertenezcan los productos y servicios que crea y satisface el ingeniero químico. La práctica de la ingeniería química se enfrenta a nuevos retos, por ejemplo, las preocupaciones ambientales que han madurado en los últimos años en el marco y concepto actual de desarrollo sustentable.

¹¹⁸ Cfr. Krieger, J. H., *Chemical Engineering redefines itself In Era of Global Chemical Change*, *Chem & Eng. News*, 74 (34), pp. 10-18. Aug. 19, 1996.

¹¹⁹ Cfr. Krieger, J. H., *Chemical Engineering redefines itself In Era of Global Chemical Change*, *Chem & Eng. News*, 74 (34), pp. 10-18. Aug. 19, 1996.

¿Qué significa el desarrollo sustentable para la industria química, y por lo tanto para los ingenieros químicos? Este fue un tema que se expuso en el 5to Congreso Mundial de Ingeniería Química en San Diego¹²⁰ por David T. Buzzelli, vicepresidente y director corporativo de medio ambiente, salud y seguridad en *Dow Chemical*. "Nuestra industria, la industria química está en el corazón del concepto llamado desarrollo sustentable."

La esencia del desarrollo sustentable, es la integración de medio ambiente, economía y sociedad. "Estoy hablando de hacer más con menos y hacerlo mejor, más barato y más rápido. Esto es bueno para la industria, la sociedad y para el medio ambiente." Señaló Buzzelli.

El desarrollo sustentable, requiere de dos ingredientes importantes: el deseo de cambio y las nuevas tecnologías. Buzzelli se refiere a "la nueva cultura de la sustentabilidad." Tradicionalmente, la protección del medio ambiente, la salud y la seguridad han sido vistas como costos de negocios, de cumplir con las regulaciones y normas, pero el desarrollo sustentable requiere que las actividades relacionadas con el medio ambiente deban considerarse como oportunidades para una mayor eficiencia, productividad, calidad y confiabilidad.

El nuevo marco del desarrollo sustentable debe basarse en la confianza ganada por todas las partes implicadas. No estamos en esta situación todavía pero poco a poco estamos saliendo de la era de la confrontación a la era de la creación en consenso.¹²¹

Algunos de los primeros ejemplos de creación de consenso a gran escala son grupos de múltiples partes interesadas, como el Consejo Presidencial sobre el Desarrollo Sustentable. Formado en junio de 1993 por el Presidente de los Estados Unidos de América William J. Clinton para desarrollar una estrategia de desarrollo sostenible

¹²⁰ Cfr. Krieger, J. H., *Chemical Engineering redefines itself In Era of Global Chemical Change*, *Chem & Eng. News*, 74 (34), pp. 10-18. Aug. 19, 1996.

¹²¹ Cfr. Krieger, J. H., *Chemical Engineering redefines itself In Era of Global Chemical Change*, *Chem & Eng. News*, 74 (34), pp. 10-18. Aug. 19, 1996.

nacional, el grupo está formado por 25 miembros con intereses muy diversos; jefes ejecutivos de las empresas, líderes ambientales, laborales y otros líderes y miembros del gabinete de Clinton¹²².

Aunque el grupo no está de acuerdo en todo, ha encontrado terreno común suficiente como para estar de acuerdo por unanimidad en 154 acciones específicas para llevar a cabo 38 recomendaciones principales en las zonas de regulación y de política económica para la gestión de los recursos naturales y la política internacional.

Las recomendaciones del consejo -explicó Buzzelli- hacen necesaria una transformación conceptual. No podemos seguir haciendo las mismas cosas y esperar obtener resultados diferentes.

El progreso en este ámbito requiere un compromiso más amplio con la salud, el medio ambiente, la prosperidad económica, y las metas sociales. Esto implica reformar el actual sistema de gestión ambiental y la creación de un marco mucho más eficiente basado en el rendimiento, la flexibilidad, la rendición de cuentas y sobre la responsabilidad social de un producto determinado.

Como otro ejemplo, las consideraciones ambientales también se presentan como un elemento latente en lo que algunos observadores prevén como un nuevo mercado en desarrollo, sobre todo en la industria de desarrollo y producción de materiales, y por lo tanto un nuevo enfoque fuerte para la ingeniería química. Naoya Yoda, asesor ejecutivo de la junta directiva y ex presidente de *Toray Corporate Business Research*, prevé que los materiales avanzados tienen el potencial para convertirse en una de las principales industrias en Japón¹²³. Aún por encima de la industria de bienes de consumo electrónicos.

¹²² Cfr. Krieger, J. H., *Chemical Engineering redefines itself In Era of Global Chemical Change*, *Chem & Eng. News*, 74 (34), pp. 10-18. Aug. 19, 1996.

¹²³ Cfr. Krieger, J. H., *Chemical Engineering redefines itself In Era of Global Chemical Change*, *Chem & Eng. News*, 74 (34), pp. 10-18. Aug. 19, 1996.

Japón está entrando en su tercera ola de desarrollo económico. La primera ola, con una tasa de crecimiento muy alto, se caracterizó por la producción del acero y corrió desde 1955 hasta el embargo petrolero árabe de 1973. La segunda ola de desarrollo fue liderada por la industria informática y la electrónica, dando lugar a una expansión de la economía japonesa. Pero una grave recesión golpeó en 1993 y hasta principios del siglo XXI, por lo que el desarrollo económico de Japón no ha avanzado a tan gran escala como antes.

El país se ha estado recuperando de dicha recesión muy lentamente pero sin pausa, desde finales de los 90's. Sin embargo aún existe un grave desequilibrio del comercio, además de de que el empleo y los salarios han disminuido.

Por lo tanto, hacer frente al cambio económico y cambio social es el primero de los desafíos que enfrenta la economía de fabricación japonesa. En este desafío, hay una necesidad de identificar una nueva industria química para el próximo siglo. Existe también un reto de innovación, de tener una industria en armonía con el desarrollo tecnológico tomando en cuenta los requerimientos y consideraciones ambientales del nuevo orden industrial que se experimentará a lo largo del siglo XXI.

Las posibilidades ofrecidas por el desarrollo de polímeros han sido exploradas por varias décadas. Al mismo tiempo, la cerámica se consolidó como un área muy importante de la química inorgánica. Sin embargo, hoy en día, nuevos materiales "inteligentes" que combinan las funcionalidades de los polímeros y cerámicas en los sistemas orgánicos-inorgánicos se perfilan como un área que puede brindar las respuestas a los desafíos de la innovación del siglo XXI.

Estos nuevos materiales avanzados desempeñaran un papel fundamental hacia una respuesta al desafío del medio ambiente. Como una contribución de la ingeniería química en la materia, se puede reducir la cantidad de materiales que requiere un determinado producto así como la reducción de las consecuencias ambientales inherentes a dicho producto.

La tecnología de los materiales ha entrado en una nueva fase de desarrollo, con materiales que se están concibiendo con base en funciones y aplicaciones requeridas, en lugar de que sus aplicaciones están limitadas por las cualidades o propiedades de los materiales¹²⁴.

Los avances en desarrollo y comercialización de estos nuevos materiales parecen apoyar la idea de que una gran cantidad de crecimiento a futuro en los productos de especialidad se asociará con el mercado regional, para finalmente aumentar el mercado mundial y que cada vez se emprendan operaciones para generar productos especializados y productos derivados. Si los mercados continúan madurando, el crecimiento futuro de los productos especializados dará lugar a nuevos nichos de mercado.

Tres sectores de los materiales de ingeniería ofrecen diferentes oportunidades para las economías emergentes, principalmente de Asia; los polímeros de ingeniería, los materiales compuestos y las cerámicas. Los dos primeros son una consecuencia natural de la industria petroquímica, mientras que las cerámicas son de interés porque ofrecen alternativas a los metales. Sin embargo la industria de materiales afrontará más intensamente los problemas relacionados con el reciclaje, la eliminación de los residuos sólidos, y la aceptabilidad medioambiental global.

En medio del torbellino de cambios tecnológicos, cambios en los mercados, y el cambio de las preocupaciones sociales que rodean a la ingeniería química, ¿cuál es la visión de aquellos en las trincheras, de los encargados de producir los ingenieros químicos del futuro? Esto se diferencia un poco, como es lógico, dependiendo de la ubicación de la trinchera particular. Ya sea en Asia, Europa o las Américas, las condiciones locales tienen una gran influencia.

¹²⁴ Cobb, C.B., *Prepare for a different future*, Chem. Eng. Progress., pp. 69-74. Feb. 2001

En Japón, por ejemplo, la situación difiere de la de otros países de Asia, de acuerdo con Shintaro Furusaki de la escuela de ingeniería en la Universidad de Tokio y presidente de la Sociedad de Ingenieros Químicos de Japón. Furusaki dice¹²⁵ que en los países asiáticos la industria petroquímica se está expandiendo rápidamente mientras que en Japón está disminuyendo, dijo al congreso de San Diego. La industria química japonesa tiende a la producción en menor escala de productos de mayor valor como los superconductores, catalizadores, polímeros funcionales, las membranas y los productos farmacéuticos. Por lo tanto, los objetivos de la investigación de cada país de Asia no son necesariamente los mismos.

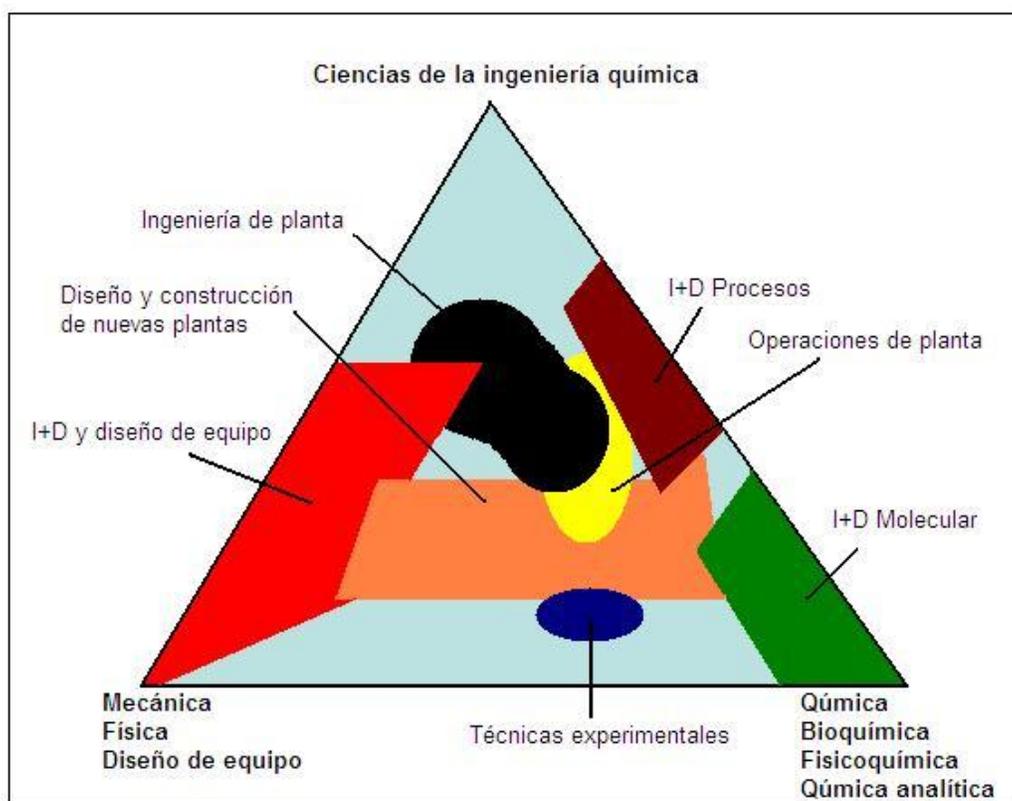
Sin embargo, Furusaki espera que en la próxima generación, los estudios sobre los recursos energéticos, el transporte, el almacenamiento y la conversión se conviertan en objetivos de investigación importante en la región de Asia y el Pacífico. Al mismo tiempo, la preservación del medio ambiente mundial es, y seguirá siendo, una preocupación de la opinión pública.

Entre otras influencias en ingeniería química, la duración media de la vida humana se hace cada vez más larga, por lo que la tecnología médica se puede esperar para convertirse en uno de los principales ámbitos de estudio en ingeniería química. La producción de alimentos es un tema muy amplio, en el que la ingeniería bioquímica jugará un papel importante. Así mismo, de la ingeniería biomédica y la biotecnología se espera el desarrollo de órganos, tejidos artificiales y nuevas aportaciones para la industria médica y farmacéutica. Para hacer frente a estas áreas la investigación interdisciplinaria y la colaboración de diversas ramas de la ciencia son indispensables.

A continuación se presenta la figura 5.f donde tres campos básicos de la ingeniería química se traslapan para dar origen a diversas áreas y procesos de aplicación que a su vez se encuentran íntimamente relacionados entre sí.

¹²⁵ Cfr. Krieger, J. H., *Chemical Engineering redefines itself In Era of Global Chemical Change*, *Chem & Eng. News*, 74 (34), pp. 10-18. Aug. 19, 1996.

Figura 5.f Diagrama triangular de traslapes de campos básicos de la ingeniería química¹²⁶



Fuente: Cfr. Krieger, J. H., *Chemical Engineering redefines itself In Era of Global Chemical Change*, *Chem & Eng. News*, 74 (34), pp. 10-18. Aug. 19, 1996.

El resultado de las aportaciones interdisciplinarias en la ingeniería química conducirá al tratamiento y estudio de temas de frontera y se convertirá en una disciplina más

¹²⁶ El diagrama triangular proporciona una manera de obtener una visión cualitativa de las fases de ingeniería química. Es una manera de representar la importancia relativa de un punto dado en el diagrama de los tres campos básicos ubicados en las puntas. La figura es una modificación de Gerhard J. Frohlich, de ideas inicialmente esbozadas por Jean Tracez de la "Société Industrielle de Chimie" en Francia, durante una presentación ante la Federación Europea de Ingeniería Química. Fröhlich, presidente de la junta directiva de Skanska Ingeniería y Construcción Co. elaboró este diagrama durante una charla que mantuvieron él y Edward L. Cussler, un profesor de ingeniería química en la Universidad de Minnesota y presidente de AIChE a mediados de los 90's

general y amplia que estudie la escala micrométrica y nanométrica. Al mismo tiempo, los procesos de reacción-separación simultánea, donde la transferencia de materia juega un papel importante, seguirá siendo una característica específica de la ingeniería química.

La ingeniería química se convertirá en la parte de la ingeniería que se basará en la estequiometría, la termodinámica y los fenómenos de transporte, que tendrá la capacidad para desarrollar la generación de productos útiles que hagan uso de la energía y los recursos con eficacia para remediar y preservar el medio ambiente mundial¹²⁷.

Matthias Bohnet¹²⁸, Director del Instituto de Procesos y Tecnología Nuclear en la Universidad Técnica de Braunschweig en Alemania, no está en desacuerdo que la interdisciplinariedad es una demanda muy importante para el futuro. Pero él se muestra especialmente preocupado por los efectos sobre el mercado de trabajo para los ingenieros químicos como consecuencia de una disminución de la producción química en los mercados internos y la subcontratación de parte de la capacidad de ingeniería de un proyecto determinado. Dichos cambios estructurales en las empresas han creado una gran brecha entre el aumento constante del número de ingenieros químicos que egresan de las universidades y la disminución del número de jóvenes contratados por la industria química.

Sin embargo, no hay duda de que existe una fuerte necesidad de innovaciones en todos los ámbitos de la química y la ingeniería química. Tomando nota de que, en cierta medida, los cambios son necesarios para la educación y formación de nuevos

¹²⁷ Cfr. Krieger, J. H., *Chemical Engineering redefines itself In Era of Global Chemical Change*, *Chem & Eng. News*, 74 (34), pp. 10-18. Aug. 19, 1996.

¹²⁸ Cfr. Krieger, J. H., *Chemical Engineering redefines itself In Era of Global Chemical Change*, *Chem & Eng. News*, 74 (34), pp. 10-18. Aug. 19, 1996.

profesionales¹²⁹. No hay falta de ideas sino una crisis en la conversión de estas ideas en procesos y productos.

En el pasado, los ingenieros químicos estuvieron principalmente ocupados buscando nuevas y eficaces reacciones químicas y las condujeron hacia el diseño de procesos confiables para la creación de diferentes productos. Ellos realizaron experimentos de laboratorio, construyeron plantas piloto, trataron de resolver el problema de la producción a gran escala y generaron los productos de condujeron al progreso innegable durante el siglo XX.

En el futuro no se tratará simplemente de producir un producto de alta calidad, sino que este producto deberá cumplir con ciertas propiedades. Para esto será necesario saber de antemano lo que se necesita para influir en el proceso de producción en la dirección deseada. Esto conducirá de vuelta a los fundamentos de la ingeniería química y requerirá una mejor comprensión de los procesos y las tecnologías a una escala molecular.

La demanda por esfuerzos interdisciplinarios en la ingeniería química será inevitable. Los ingenieros químicos no serán capaces de hacer mucho de este trabajo en solitario. Tienen que cooperar con los químicos, físicos y biólogos. En todas las áreas de la ingeniería química, la interdisciplinariedad brindará las oportunidades para un progreso real en el futuro.

Lo primero en reconocer es que la industria química no es una industria en crecimiento. Se trata de un tráfico de mercancías. Por ejemplo¹³⁰, la producción de fibras textiles naturales durante los últimos cincuenta años ha sido casi constante, prácticamente

¹²⁹ Cobb, C.B., *Prepare for a different future*, Chem. Eng. Progress., pp. 69-74. Feb. 2001

¹³⁰ Cfr. Krieger, J. H., *Chemical Engineering redefines itself In Era of Global Chemical Change*, Chem & Eng. News, 74 (34), pp. 10-18. Aug. 19, 1996.

independiente del crecimiento de la población del mundo, en cambio, la producción de fibras textiles sintéticas, creció desde 1950 hasta 1970 a una tasa compuesta del 20% anual - similar a la de la microelectrónica en los últimos años. Sin embargo, desde 1970, la tasa de crecimiento ha aumentado alrededor del 5% anual, en proporción al crecimiento de la población.

El escenario más probable para los ingenieros químicos implica que los ingenieros químicos tomen una posición similar a la de los ingenieros civiles. La ingeniería civil se divide básicamente en tres partes. Un tercio de los ingenieros civiles están implicados en el mantenimiento de la infraestructura que existe y trabajan para las grandes organizaciones del sector. Otro tercio trabaja en la construcción, mientras que el último tercio restante se dedica a la consultoría, al suministro de conocimientos especializados. La tensión entre estos tres grupos es compatible con una profesión madura que tiene un enorme amor propio y una larga historia e influencia en el progreso de las sociedades¹³¹.

Es posible imaginar un futuro similar para la ingeniería química. Algunos ingenieros químicos realizarán tareas y servicios de ingeniería. Otros trabajarán para grandes organizaciones, grandes empresas y diferentes sectores del gobierno y agencias públicas. Un tercer grupo será partícipe de la concepción y origen de conocimiento especializado.

En la medida en la que esta suposición sea correcta, tendrá implicaciones en las perspectivas y oportunidades de empleo. El empleo debería ser estable o ligeramente decreciente para los fabricantes de productos básicos y habrá un fuerte aumento en la demanda de proveedores de servicios de ingeniería y productores especializados.

Sin embargo otras áreas de la ingeniería han dejado de ser consideradas las opciones más viables para iniciar estudios profesionales de ingeniería, por lo menos en una medida menor a como lo fue durante el siglo XX. A juzgar por las estadísticas

¹³¹ Cfr. Krieger, J. H., *Chemical Engineering redefines itself In Era of Global Chemical Change*, *Chem & Eng. News*, 74 (34), pp. 10-18. Aug. 19, 1996.

disponibles, en la actualidad existe un exceso de oferta considerable de ingenieros eléctrico. Casi el 50% de los puestos de trabajo de ingeniería eléctrica han visto recortes. En consecuencia, los estudiantes interesados en estudiar ingeniería eléctrica han visto a la ingeniería química como la mejor alternativa¹³².

Otro aspecto que merece mencionarse es que más mujeres están ingresando a estudiar ingeniería química. Esto implica un aumento considerable en la oferta de ingenieros químicos dispuestos a adentrarse en el mercado laboral, sin embargo existen sectores emergentes de ingeniería química que pueden representar un escaparate laboral para los nuevos profesionales de la ingeniería química¹³³.

En este renglón se ha apuntado con mucho ahínco que el crecimiento de la biotecnología puede ser una solución al exceso de oferta, algo que se menciona a menudo. Es muy probable que el número de ingenieros empleados en la biotecnología aumente un 20% anual durante los próximos diez años. Pero estas cifras suenan impactantes dentro del sector individual de la biotecnología, no para el inmenso orden de la ingeniería química en general.

Este panorama puede sonar un poco pesimista, sin embargo la ingeniería química todavía representa un activo enorme. Si bien los empleos son más difíciles de encontrar, los ingenieros químicos continúan siendo muy bien pagados. La industria de los Estados Unidos de América continúa manteniendo un balance positivo comparando los salarios promedio de los ingenieros químicos respecto a otras profesiones e inclusive respecto a otras áreas de la ingeniería. Los retos técnicos de la ingeniería química son tan interesantes en la vida económica del día de hoy como lo fueron en la creciente industria del siglo anterior.

¹³² Cfr. Krieger, J. H., *Chemical Engineering redefines itself In Era of Global Chemical Change*, *Chem & Eng. News*, 74 (34), pp. 10-18. Aug. 19, 1996.

¹³³ Cfr. Shinnar, Reuel, *The future of Chemical Engineering*, *Chem. Eng. Progress*, September, 1991

Se vive en un momento de estrés, pero no en una época de terror. La ingeniería química ha manejado retos como éstos antes, y lo hará de nuevo. La ingeniería química se perfila como una profesión fuerte y eficaz ante un entorno globalizado como el que se desarrollará a lo largo del siglo XXI.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el pasado, el profesional de la ingeniería química estuvo inmerso en la búsqueda y desarrollo de procesos confiables para la creación de diferentes productos. Realizó experimentos de laboratorio, construyó plantas piloto, y resolvió el problema de la producción a gran escala que condujo al progreso innegable del siglo pasado.

En el futuro no se tratará simplemente de producir un producto de alta calidad, sino que este producto deberá cumplir con ciertas propiedades y requerimientos. Para esto será necesario saber de antemano lo que se necesita para influir en el proceso de producción en la dirección deseada. Esto, a su vez, conducirá de vuelta a los fundamentos de la ingeniería química y requerirá una mejor comprensión de los procesos y las tecnologías desde los diversos sectores y áreas de especialización que conforman a la ingeniería química.

Como se mencionó a lo largo de este trabajo, la ingeniería química es una disciplina que ha vivido múltiples cambios a lo largo de su existencia. Desde sus inicios como una serie de técnicas y habilidades que permitieron escalar la generación de productos y el diseño de procesos y tecnologías más allá de las limitaciones de un laboratorio, hasta convertirse en una rama formal de la ingeniería intrínsecamente ligada al progreso científico y tecnológico que permite cumplir con las necesidades y requerimientos de las sociedades modernas, la ingeniería química ha sido y continuará siendo una de las herramientas más útiles para alcanzar el bienestar humano para los años venideros.

Estos cambios a los que ha estado sometida la ingeniería química a lo largo del desarrollo histórico de la misma, son la muestra más clara e innegable de que la ingeniería química es una disciplina en constante evolución. Este proceso evolutivo es la razón por la cual la ingeniería química ha sido una de las ramas de la ingeniería que han otorgado a humanidad las respuestas a las necesidades inherentes al desarrollo de las sociedades.

Es evidente que la ingeniería química ya no puede seguir otorgando las soluciones que ha entregado históricamente sin antes avanzar hacia la formalización de un tercer paradigma. Existen algunas ideas sobre este tercer paradigma, sin embargo todas estas ideas conducen hacia un mismo punto: La interdisciplinariedad y las áreas de especialización de la ingeniería química en el trabajo en colaboración.

Para alcanzar el triunfo en las tareas que la ingeniería química enfrentará en el futuro no bastará simplemente con intensificar las herramientas y habilidades que se han desarrollado históricamente para enfrentar estos retos. Los ingenieros químicos del futuro deben concebir de otro modo las vías para competir y brindar soluciones rentables a un predicamento determinado abrazando los conceptos de colaboración entre diferentes áreas de la ingeniería química e inclusive con otras ciencias y ramas de la ingeniería.

Los ingenieros químicos deben aceptar el hecho de que el cambio constante en la industria química implica que las habilidades que se requieran por parte de los ingenieros químicos también deberán cambiar. Es pues la búsqueda de estas nuevas habilidades lo que requiere una reorientación de la ingeniería química que permita enfrentar los retos y aprovechar las oportunidades que se presentarán en el futuro.

Con esta idea se propone la tentativa de reinventar el concepto de “ingeniería química” en el que la producción en colaboración con diferentes áreas y especialidades se profile como la guía definitiva de la estrategia a seguir por parte de esta rama de la ingeniería desde el siglo en curso.

En el primer paradigma se consideraba al ingeniero químico como una persona eminentemente práctica, con poca aplicación de las matemáticas que no iba más allá del cálculo elemental y con una gran pericia para el diseño de acuerdo a códigos y otros métodos bien definidos y resumidos en los manuales. En correspondencia con este perfil se enseñaba la ingeniería química en las universidades con profesores vinculados a la industria o que provenían de ella. Este patrón cambió al inicio de la segunda mitad del siglo XX, con el segundo paradigma de la ingeniería química. En

virtud de que los métodos tradicionales presentados en los manuales y enseñados en las universidades eran inadecuados para las nuevas demandas profesionales impuestas por los nuevos desarrollos tecnológicos. Las nuevas tecnologías requerían otra lógica y una mayor fundamentación en matemáticas, ciencias básicas, y ciencias de la ingeniería que dieran cuenta de los principios y leyes que subyacían en estas aplicaciones. Fue con este paradigma que se introdujo en la educación en ingeniería las ecuaciones diferenciales, la teoría de dinámica y control de procesos, y los fenómenos de transporte entre otros conocimientos dentro de los nuevos programas curriculares de ingeniería química.

La emergencia de la globalización económica, política y cultural; el despliegue de un nuevo paradigma tecno económico impulsado por la microelectrónica, la tecnología de la información y las telecomunicaciones; concomitantes con la aparición de una revolución de efectos más profundos e impredecibles, la revolución del conocimiento, están generando una sociedad del conocimiento, que sumada a la profunda crisis que vive hoy la sociedad mundial, configuran un contexto que reclama un nuevo paradigma en la formación de los ingenieros químicos

Son dramáticos los cambios a los que estamos asistiendo con el despliegue de una nueva civilización que trae consigo, nuevos problemas, nuevas necesidades, maneras diferentes de producir y organizar el trabajo, cambios en las prácticas comerciales y de gestión de las organizaciones, aparición casi explosiva de productos inimaginables, formas diferentes de hacer el trabajo y de relacionarnos, y aún hasta de concebir y sentir el mundo; que se traduce en una nueva forma de vida de las personas y de la organización de la sociedad y sus relaciones internacionales, y que por lo tanto demandan cambios en la educación de todos y muy particularmente en las competencias de los futuros profesionales de la ingeniería.

La accesibilidad cada vez mayor a las tecnologías de la información en el entorno globalizado que se está viviendo pone al alcance de todos los profesionales de la ingeniería, en sus particulares áreas de especialización, los instrumentos necesarios

para colaborar, crear valor y competir para participar en la innovación y el desarrollo de nuevos productos y procesos desde los diferentes sectores de la ingeniería y la ciencia. Un mundo más pequeño, abierto e interdependiente posee el potencial hacia una era de colaboración dinámica, activa y más eficiente.

La colaboración del ingeniero químico con profesionales de otras áreas es y será siempre mucho más productiva para ambos sectores. Esto no cambiará en el futuro, sino que será un proceso intrínsecamente ligado a la investigación y el desarrollo en diversos sectores de importancia compartida por estas disciplinas. Esta situación se verá necesariamente intensificada por fenómenos sociales a los cuales la ciencia y la tecnología no pueden ni deben ser ajenos, el ejemplo más claro es la globalización, que ha acelerado el crecimiento y desarrollo de las sociedades en una forma claramente apreciable con respecto a las etapas anteriores del desarrollo histórico del hombre y la sociedad.

El hecho de que tantas de nuestras ideas y concepciones dentro del marco de la ingeniería química estén presentes en el desarrollo y generación de diversos productos maduros es un sensible legado del origen de esta disciplina en las primeras industrias de proceso. El ingeniero químico aún se encuentra en excelentes condiciones para desarrollar sus labores dentro de la industria química, pero a medida que esta industria continúe creciendo y evolucionando, el paradigma clásico del ingeniero químico deberá evolucionar para adaptarse al mundo cambiante. Actualmente existen algunas ideas organizadas que se ajustan al desarrollo y generación de nuevos productos. Para desarrollar nuevos productos y procesos, es necesario sentar bases intelectuales más amplias e innovadoras.

Este nuevo paradigma tiene que romper radicalmente con algunos conceptos sobre lo que es la misma ingeniería química, y por lo tanto sobre los procesos formativos de los ingenieros.

El primer cambio que debe introducirse es la concepción sobre el objeto de estudio de la ingeniería química. La ingeniería química será un área del conocimiento con un

discurso organizado y sistematizado, con su propio método, procedimientos y prácticas de trabajo, y con una región y ámbito de problemas que justifiquen su existencia. Un campo del saber profesional, integrado por conocimientos científicos y empíricos. Esta generación de diversos conocimientos serán atribuidos a muchas disciplinas, no sólo a las ciencias naturales y las ciencias formales, sino también a los conocimientos de las ciencias sociales y humanas. Estos conocimientos harán referencia a conocimientos relacionados con los objetos de trabajo de la ingeniería sobre los cuales interviene el ingeniero, que le permitan conocer la esencia material, las relaciones con el entorno físico y social; el modo de actuación o intervención del ingeniero ante un problema determinado.

Un hecho ineluctable que determina el espectro de habilidades del futuro ingeniero es que el ingeniero será un trabajador del conocimiento en una sociedad del conocimiento. Esta condición supone que sus habilidades básicas deberán ser habilidades intelectuales que le permitan trabajar para producir conocimiento, más que poseer conocimientos y habilidades específicas en una tecnología, pues el conocimiento está cambiando hoy y lo hará con mayor aceleración en el futuro. El ingeniero químico del futuro deberá desarrollar habilidades intelectuales que apalanquen su creatividad y le permitan ser innovador. Operaciones intelectuales tales como el análisis, la síntesis, la inducción, la deducción, la abstracción, la analogía y en un grado superior el pensamiento sistémico, complejo y divergente. Esto resultará esencial para el aprendizaje continuo, la identificación, análisis y solución de problemas complejos, así como para el desarrollo de las innovaciones que se requerirán en el futuro.

En este nuevo paradigma de la ingeniería química se suman a las habilidades genéricas mencionadas, capacidades como la capacidad de cambio y adaptación a ambientes de trabajo muy dinámicos; capacidad de liderazgo y trabajo en equipos multidisciplinarios; capacidad de autogestión del conocimiento para aprender autónomamente y en forma continua; capacidades para la gestión empresarial; capacidades para el manejo de técnicas y herramientas modernas para el trabajo en ingeniería, especialmente aplicaciones informáticas de uso general, pero también

específicas para cálculos y simulación en ingeniería, y comunicación en redes informáticas; capacidad para enfrentar la incertidumbre y entender los factores no técnicos que afectan profundamente las decisiones en ingeniería, así como para entender y evaluar anticipadamente los impactos de estas decisiones en un contexto social global y en el espacio particular de su comunidad.

El nuevo paradigma debe estar caracterizado por un aprendizaje activo basado en proyectos o en la solución de problemas reales; e idealmente con proyectos educativos cooperativos con el sector productivo. Se debe promover el aprendizaje de los contenidos actuales de las ciencias, como las matemáticas y las ciencias básicas, en el contexto de su aplicación a la solución de los problemas de ingeniería. Un aprendizaje centrado en el estudiante, con profesores facilitadores del aprendizaje, más que dispensadores de información. Este aprendizaje deberá tener un carácter colaborativo basado en equipos de aprendizaje, soportado en las tecnologías que ofrece la informática, la multimedia y el internet, como principales vías auxiliares que permitan sintetizar información concreta, hechos, datos, sonidos, imágenes, fenómenos y procesos observables en toda su riqueza. Ese nuevo paradigma en la formación de los ingenieros también requiere transformar la gestión curricular. Es necesario reducir la clase magistral a sus justas proporciones, y posiblemente cambiar: los horarios genéricos y rígidos, los calendarios uniformes, los exámenes estandarizados, la evaluación discontinua y limitada, por unos sustitutos que hagan el aprendizaje más dinámico, individualizado, abierto, flexible y más placentero.

La inclusión de estas nuevas opciones y caminos de innovación, colaboración e interdisciplinariedad estimulará un renovado interés en la ingeniería química por parte de los estudiantes y profesores en la medida en que el impacto social de la profesión se vea enfatizado y materializado en los nuevos planes de estudio que ofrezcan nuevos paquetes terminales de especialización en ingeniería química que además, vinculen a la universidad y a la industria química en un esfuerzo común para la formación de los nuevos profesionales de la ingeniería química.

BIBLIOGRAFÍA

Klimovsky, G., *Las desventuras del conocimiento científico. Una introducción a la epistemología*, A-Z editora, Bs.As., 1999

Tapias G. H., *Ingeniería Química: Escenario futuro y dos nuevos paradigmas*. Ingeniería Química. Revista española, Editorial alción, s.a. No. 359 Julio/agosto 1999.

Guía para el diseño de un perfil de formación en Ingeniería química, Agència per a la Qualitat del Sistema Universitari de Catalunya, Josep Turon i Triola et al., 1ª edición, septiembre 2006

Tapias G.H., *Ingeniería Química: Escenario futuro y dos nuevos paradigmas* Ciencia y Tecnología. Vol 16 pag: 25-36. No.: 4 Octubre/Diciembre 1998.

W. M. Pafko. *History of Chemical Engineering*. Artículo disponible en línea en <http://www.pafko.com/history/>

I. Kim, *An Evolution in Chemical Engineering: The Journey Ahead: The past as evolution in Chemical Engineering*, Chemical Engineering Progress, January 2002 Vol. 98, No. 1

Villiermaux , J., *New Horizons in Chemical Engineering*, the 5th World Congress of Chemical Engineering: Technologies Critical to Chsnnging World, Summary Proceedings, July 14 – 18.}

M. Zunino, *Ingeniería Química: Notas Sobre su Origen y Evolución*, Asociación de Ingenieros Químicos del Uruguay. (Artículo disponible en línea en <http://www.aiqu.org.uy/historia/Evolucion.htm>)

Bird, R.B.; Stewart, W.E.; Lightfoot, E.N. "Fenómenos de Transporte", Editorial Reverté. Barcelona, España, 1964

Worstell, J.H., *Fluids Mechanics*, Chemical Engineering Progress. Nueva York, [D](#)iciembre 2001. Tomo 97, N° 12; pg. 78.

Fernández M.N., *Logros de la Ingeniería Química*, El Coaxial. Periódico de difusión universitaria del CPS. 1999

Pangtay C.S., *Petroquímica y Sociedad*, Fondo de Cultura Económica, Primera edición, México, 1987

Anderson, E. V., *Optimism returns to Mexico's petrochemical industry*, Chemical Engineering News, 7 de noviembre de 1986, p. 14.

Hatch, L. F. y Sami Matar, *From hydrocarbons to petrochemicals*, Hydrocarbon Processing, agosto de 1978, p. 153.

Leprince, P., Catry J. P. y Chauvel, A., *Les produits intermédiaires de la chimie de dérivés du pétrole*, Société des éditions Technip, 1967.

Kratochvíl, P.; Stepto, R. F. T.; Suter, U. W. *Glossary of Basic Terms in Polymer Science. Pure Appl. Chem.* 1996. 68 2287–231

Michalovic, M. et. al., *Macrogalleria*. Department of Polymer Science, University of Southern Mississippi. <http://www.pslc.ws/macrog/maindir.htm>

Allcock, Harry R.; Lampe, Frederick W.; and Mark, James E. *Contemporary Polymer Chemistry*, 3a ed. Pearson Education. USA. 2003

Brandrup, J.; Immergut, E.H.; Grulke, E.A. *Polymer Handbook*, 4a ed. Wiley-Interscience. USA. 1999

Revista Inter-Forum, Consorcio Internacional de Publicaciones Académicas Alternativas (ICAAP), *¿Qué son los Polímeros?*, 2002. Artículo disponible en línea en <http://www.revistainterforum.com/espanol/articulos/072902Naturalmente.html>

Mijangos U. C., *La importancia de los polimeros*, Sociedad de Estudios Vascos, España, 2009. Artículo disponible en línea en <http://www.euskonews.com/0500zbn/gaia50004es.html>

Bulbulian, A., *El descubrimiento de la radiactividad*. Fondo de Cultura Económica. *La radiactividad*. Phroneris, Biblioteca Digital (1ª ed edición). México. 1987.

Goded E. F., Serradell G.V., *Teoría de reactores y elementos de ingeniería nuclear. Tomo I*. Publicaciones científicas de la JEN. 1975

Utilización de la Energía Nuclear Para la Producción de Energía Eléctrica, Consejo de Seguridad Nuclear de España, 1992.

Bustamante G.G., *Energía Nuclear*, Caracas, Venezuela. Artículo disponible en línea en la dirección <http://bit.ly/cH6COm>

Sitio de internet oficial del proyecto ITER <http://www.iter.org/>

Sitio de internet oficial del proyecto MYRRHA <http://myrrha.sckcen.be/>

Sitio de internet oficial del proyecto de Almacenamiento Geológico Profundo ENRESA <http://www.enresa.es/>

Tate W.B., *The development of the organic industry and market: an international perspective*. In N.H. Lampkin and S. Pade. *The Economics of Organic Farming*.

Abonos, fertilizantes y correctores del suelo, Hogar Natural, 2005. Artículo disponible en línea en <http://www.elhogarnatural.com/abonos%20y%20fertilizantes.htm>

Cfr. Melgar. R. *Los Fertilizantes en el Hall de la Fama*, Biblioteca de fertilidad y fertilizantes en español. Julio 2008. Artículo disponible en línea en <http://www.fertilizando.com/articulos/Los%20Fertilizantes%20en%20Hall%20de%20Fama.asp>

Koch, D. H., *The future: Benefiting from new tools, techniques, and teaching*, *Chemical Engineering Progress*, January, 1997.

Pekny, J., *Communications: Profiting from an Information Explosion*, *Chem. Eng. Progress*, 89 (11). Nov. 1993

Boston, J. F., Britt, H.I., Tayyabkhan, M. T., *Software: Tackling Tougher Tasks*, *Chem. Eng. Progress* 89 (11). Nov. 1993

Pantelides, C.C., Barton, P. I., *Equation-Oriented Dynamic Simulation: Current Status and Future Perspectives*, *Comp & Chem. Eng.* 17 (S). 1993

Shanley, A., *Molecular modeling it's not just for chemist anymore*, *Chemical Engineering*, January, 1996.

Moore, R. L., *New Technologies in Advanced Process Control*. *Ind. Proc. Prod. Technol.* 10 (6). Nov. 1996

Cfr. Srinivassan, R., Hsing, I. M., Ryley, J., Harold, M.P., Jensen, K.F., Schmidt, M.A., *Micromachined Chemical Reactors for Surface Catalyzed Oxidation Reactions*, *Technical Digest, Solid-State Sensor and Actuator Workshop*, Hilton Head, SC, p. 15. 1996

Lauffenberger, D.A., *Cell Engineering*, *Biomedical Engineering Handbook*, CRC Press, USA, 1995.

Cima, L.G., Langer, R., *Engineering Human Tissue*, *Chem. Eng. Progress*, 89 (6), June, 1993.

Krieger, J. H., *Chemical Engineering redefines itself In Era of Global Chemical Change*, *Chem & Eng. News*, 74 (34), pp. 10-18 /Aug. 19, 1996).

National Research Council, *Frontiers in Chemical Engineering*, National Academy Press, Washington, D.C., 1998

Cussler, E. L., Savage, D. W., Middelberg, A. P. J., Kind, M., *Refocusing Chemical Engineering*. Chem. Eng. Progress, Jan. 2002. Pp. 26S-31S

Ritter, S.K., *The Changing Face of Chemical Engineering*. Chem. & Eng. News. Pp 63-66. June. 2001

Lagowski, J.J., *Viewpoints: Chemist on Chemistry. Chemical Education: Past, Present and Future*, Journal of Chemical Education, Vol. 75, N° 4, April 1998

Ainsworth, S.J., *Expatriate Programs*, Chem. & News., Apr. 6, 2009 pp. 41-43

Wang, L., *Learning Chemistry Online*, Chem. & News., Sept. 7, 2009 pp. 97-99

Sitio oficial del Open Course Ware del MIT <http://ocw.mit.edu/index.htm>

Mensaje oficial de la Presidenta del MIT, Susan Hockfield en el Sitio oficial del Open Course Ware del MIT <http://ocw.mit.edu/about/presidents-message/>

Landau, R., *Education: Moving from Chemistry to Chemical Engineering and Beyond*, Chem. Eng. Progress., pp. 52-65. Jan. 1997

Cobb, C.B., *Prepare for a different future*, Chem. Eng. Progress., pp. 69-74. Feb. 2001

Shinnar, Reuel, *The future of Chemical Engineering*, Chem. Eng. Progress, September, 1991