

Ingeniería Química: Historia y Evolución

Cateryna Aiello Mazzarri, Zulay Mármol y Araceli Sánchez de Puertas

Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería.
Universidad del Zulia. Apartado 526. Maracaibo 4001-A, estado Zulia, Venezuela.
*e-mail: caiello@fing.luz.edu.ve, zulaymarmol@gmail.com y arabeni2002@yahoo.com

Recibido: 10-06-11 Aceptado: 16-09-11

Resumen

La Ingeniería Química puede definirse, en una forma amplia y general, como la rama de la ingeniería que se ocupa de la aplicación de las ciencias, como son la matemática, la química, la física y la biología, en los procesos de conversión de materias primas o sustancias químicas, para la generación de productos más útiles o valiosos, de una manera económica y sostenible, es decir, la gestión de los recursos con control de los procedimientos de seguridad y prevención de pérdidas y la protección del medio ambiente y la salud. Así que de alguna manera, la Ingeniería Química es una disciplina con un carácter dual, que combina una faceta científica, junto con una más pragmática, las necesidades de la industria y la sociedad. Al revisar la evolución histórica de la Ingeniería Química se puede observar que los cambios en la disciplina y en los planes de estudio, se han dado como una reacción a los estímulos tanto de la ciencia como de la industria. La combinación de, por ejemplo, las necesidades de la sociedad moderna en cuanto a energía y confort, la conservación del ambiente, nuevas áreas como la biotecnología y la nanotecnología, la eficiencia en la producción y manufactura, los enfoques de múltiples escalas, los continuos avances de las herramientas computacionales, las nuevas técnicas y métodos de análisis, entre otros, así como los grandes accidentes y catástrofes relacionados con la industria química que han ocasionado pérdidas humanas y económicas, han impulsado y generado la mayoría de los cambios y propuestas.

Palabras clave: Ingeniería Química, Historia, Evolución, Futuro.

Chemical Engineering: History and Evolution

Abstract

Chemical Engineering, in a broad and general sense, can be defined as the branch of engineering that deals with the application of sciences such as mathematics, chemistry, physics, and biology in the process of converting raw materials or chemicals to generate more useful and valuable products in an economical and sustainable way, that is to manage the resources with procedures of safety and loss prevention to protect life, health and the environment. It is a discipline with dual character, combining a scientific aspect, along with a more pragmatic one, the needs of the industry and society. In reviewing the historical evolution of chemical engineering, can be observed that the changes in the discipline and in the studies plan have been done as a reaction to stimuli of both science and industry. The combination of, for example, the needs of a modern society in terms of energy and comfort, the needs of environmental conservation and sustainability, the development of new areas such as biotechnology, nanotechnology, multi-scale approaches, among others, as well as the major accidents and disasters related to the chemical industry that have caused human and economic losses, have driven and generated most of the changes and proposals

Key words: Chemical Engineering, History, Evolution, Future.

La Ingeniería Química como una disciplina independiente

La Ingeniería Química se convierte en una disciplina independiente con el establecimiento del término “Operaciones Unitarias” por parte de Arthur D. Little en 1915, en un reporte al Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) [1], diferenciándola de la Química Industrial, la Química Aplicada y de la Ingeniería Mecánica y establece la independencia de una profesión en ciernes y una disciplina académica con metodología propia. De manera que, si bien las técnicas de la industria química descansan sobre la estructura de los principios científicos y leyes básicas conocidas, se requiere de un enfoque ingenieril y de las expresiones cuantitativas por medio de las cuales acceder al tratamiento de estas operaciones, que permita su fácil comprensión y aplicación por el alumno. Este es lo que se ha denominado el *Primer Paradigma Unificador de la Ingeniería Química: Las Operaciones Unitarias* [1, 2, 3].

El Instituto Americano de Ingenieros Químicos, AIChE (American Institute of Chemical Engineers) fundado en 1908, realizó a finales de 1920 la primera evaluación de la Ingeniería Química, como disciplina académica independiente, identificando que existían 78 instituciones en donde se enseñaba la Ingeniería Química, las cuales requerían de un gran número de temas, con gran variación en cuanto a la exigencia y al peso dado a cada curso y que no existía nada parecido a la existencia de algún curso estándar. Las recomendaciones indicaron la necesidad de reducir la multiplicidad de temas, evitar la especialización por industria, unificar nomenclatura y proveer de fuertes bases de matemática, química y física a los estudiantes. [3]. Esta evaluación destacó la importancia de las operaciones unitarias como el núcleo de los programas de Ingeniería Química, y favoreció el establecimiento de Departamentos Independientes en las Escuelas de Ingeniería, en lugar de dependencias adscritas a los Departamentos de Química, ejerciendo presión en los EE.UU. para establecer la posición de la Ingeniería Química como una disciplina independiente. Durante este tiempo, esta nueva disciplina, quedó establecida en diferentes partes del mundo. En Gran Bretaña, comenzó primero como cursos de postgrado en 1910, siendo dictados en la Universidad de Londres y en el *Imperial College* y no es hasta 1937, cuando comienzan los estudios de pregrado en la Universidad de Londres [2]. En 1922 se forma el Instituto de Ingenieros Químicos (Institution of Chemical Engineers) de Gran Bretaña.

Entre 1925 y 1935 la enseñanza de la Ingeniería Química se fundamentó en la generalización del empleo del Balance de Materiales y Energía para estudiar la operación de los subsistemas químicos, así como el desarrollo de la información sobre los procesos de diseño de equipos y la selección de los materiales para su construcción. Esta nueva y joven profesión se expandió rápidamente, teniendo un marcado efecto en la práctica industrial, tanto a nivel de la industria química, como en la industria petrolera, pulpa y papel, alimentos, pinturas, vidrio y agua. Entre 1936 y hasta finales de la Segunda Guerra Mundial, se eliminaron progresivamente las materias de Mecánica y Química Industrial y Aplicada de los planes curriculares de enseñanza, adquiriendo mayor importancia la Termodinámica Aplicada a la Ingeniería Química así como la Instrumentación y el Control de Procesos.

La consolidación de la Ingeniería Química como carrera universitaria

Después de la Segunda Guerra Mundial, se desarrolló para la Ingeniería Química un periodo de crecimiento sustancial en lo académico y en lo industrial. Se consolidó la creación de la Ingeniería Química como carrera universitaria y se ofertó en muchos países, tanto en aquellos con tradición en educación en el área, como en otros en donde la carrera fue una novedad. En Gran Bretaña se estimó que se necesitarían más de 1200 nuevos Ingenieros Químicos antes de 1950, por lo que la Industria privada y el Estado realizaron grandes inversiones para expandir rápidamente la enseñanza de la Ingeniería Química [4]. Similarmente sucedió en Holanda [5], en donde la empresa Shell realizó grandes aportes a la Universidad de Delft, así como en Australia [6] y Canadá [7].

En la primera década de la post guerra, entre 1945 y 1955 la Ingeniería Química se separó definitivamente de la Química Industrial descriptiva y comenzó el desarrollo de la cinética química aplicada. Con la aparición, en 1950, del libro *Operaciones Unitarias* (Unit Operations) de Brown [8], se clasificaron por primera vez las operaciones básicas de transporte de fluidos, transferencia de masa, transporte de energía y tratamiento de sólidos. También se desarrolla el uso de las matemáticas para entender el comportamiento de diversos sistemas en la Ingeniería Química. En 1956, se publicó el libro *Cinética en la Ingeniería Química* (Chemical Engineering Kinetics) de Smith [9] y en el Congreso Mundial de Ingeniería Química de 1957 surgió la Ingeniería de las Reacciones Químicas, introduciéndose por primera vez este término para integrar el estudio de los procesos de reacción que tienen lugar en la Industria Química. A finales de los años 50 y durante la década del 60, se produjo un intenso desarrollo científico basado en el estudio de aquellos principios de la ciencia en los cuales se basaban las operaciones y los procesos, Así pues, se intensificó el estudio de la cinética química, diseño de reactores y de los fenómenos de transporte, desarrollándose conocimientos sustanciales sobre los fundamentos de momento, transporte de calor y masa, con los cuales muchos de los problemas presentes para ese momento en la industria se podían resolver, así como una amplia variedad de problemas en nuevas áreas de actividad, ampliándose así el campo de actuación de los Ingenieros Químicos. En 1960, la publicación del libro *Fenómenos de Transporte* (Transport Phenomena) por Bird, Stewart y Lightfoot [10] marcó el inicio del establecimiento de la Ingeniería Química como una ciencia y el de un nuevo curso en los planes de estudio de todas las instituciones del mundo con la carrera de Ingeniería Química. Este libro, ha sido utilizado durante décadas, y luego de más de 40 años, en el 2001, se publicó la segunda edición [11], convirtiéndose en lo que para muchos este es el *Segundo Paradigma de la Ingeniería Química* [1, 2].

La expansión y consolidación de la Ingeniería Química

La expansión de la Ingeniería Química durante los años de la postguerra estuvo marcada por las necesidades y problemas de la industria petroquímica y con el auge de uso de los materiales sintéticos y plásticos, se incorporó en los planes de formación la ciencia y tecnología de los polímeros y el estudio de los materiales. Los inicios de la automatización computarizada, abrieron al Ingeniero Químico la posibilidad de utilizar herramientas de análisis matemáticos y computacionales para comprender los sistemas complejos. A finales de los años 60, cobró auge el enfoque de la Ingeniería Química como una Ingeniería de Sistemas de Procesos, basado en el desarrollo, concepción y diseño de los procesos, los sistemas de control y por la operación efectiva de los complejos procesos de planta. Esto impulsó un cambio en la enseñanza de la Ingeniería Química, incorporando nuevas herramientas y técnicas modernas para el diseño y operación de plantas industriales. Este nuevo enfoque aportó un equilibrio que favoreció el establecimiento y desarrollo de la academia y la investigación en la Ingeniería Química [1]. A medida que surgieron nuevos avances en la tecnología informática, tanto el control como la simulación de procesos, tomaron mayor importancia y se introdujeron de forma progresiva en todos los planes de estudio de los Departamentos y Escuelas dedicados a la enseñanza de la Ingeniería Química.

La incorporación de los procesos biológicos en el desarrollo de numerosos procesos de manufactura de productos químicos aunado a las necesidades de la industria farmacéutica y la de alimentos abren nuevas fronteras al Ingeniero Químico. Por otro lado, la inestabilidad tanto energética como del mercado de materias primas, originó la necesidad de generación de productos de alta tecnología menos dependientes de las fuentes de energía y de los costos de la materia prima. Todo esto ha diversificado la Ingeniería Química hacia áreas emergentes como la Ingeniería Bioquímica, la Biotecnología, la Bioingeniería, la Biorefinación, los Biomateriales, entre otras, incorporando a los planes de estudio los conocimientos fundamentales de los procesos biológicos, a través de la Bioquímica y la Microbiología.

La percepción pública y la legislación

La preocupación y la percepción pública sobre el impacto o efecto de las grandes instalaciones destinadas a la fabricación y producción de productos químicos, sobre la seguridad de las personas en el entorno y el impacto sobre el ambiente, impulsaron nuevos cambios en la industria química y como consecuencia en la Ingeniería Química, como disciplina y profesión. La explosión ocurrida en junio de 1974, en la planta química de Nypro Limited, ubicada en Flixborough, Inglaterra, es una referencia obligada cuando se analizan los efectos de la industria química sobre la salud y el ambiente. El accidente se produjo por una fuga de ciclohexano en una tubería instalada de forma temporal, causando una explosión que destruyó toda la planta, con un saldo de 28 muertes y 36 lesionados. Los daños se extendieron hasta 1821 casas cercanas, 167 tiendas y fábricas, reportándose 53 personas lesionadas en las áreas circunvecinas y el incendio en la planta tuvo una duración de 10 días [12].

Dos años más tarde, en 1976, ocurrió el accidente de Seveso [13], Italia, en la planta química Icmesa (Industria Química Meda S.A.), debido a una reacción química fuera de control que liberó unas 2 toneladas de gases a la atmósfera, entre los cuales había 2,3,7,8-tetracloro-p-dibenzodioxina (TCDD), un gas de extrema toxicidad y persistencia en el medio ambiente generado como producto intermedio y cuya dosis letal para una persona de sensibilidad promedio es inferior a 0.1 mg. La falta de comunicación de la empresa con las autoridades locales causó la evacuación de la zona luego de dos semanas después del accidente, no reportándose fatalidades en forma inmediata, pero sí unas 37.000 personas afectadas por enfermedades de la piel, contaminándose más de 1.800 Hectáreas de terreno y ocasionando la muerte de más de 3.000 animales de granja y silvestres. En la actualidad, 35 años después, las consecuencias no han desaparecido del todo. Luego de este accidente, se promulgó la primera Directiva Europea relativa al control de los riesgos de accidentes graves en actividades industriales, la Directiva 82/501/CEE [14], comúnmente llamada Directiva "Seveso I", la cual imponía duras regulaciones industriales y hacía énfasis en la prevención de los accidentes y la limitación de sus consecuencias mediante la exigencia de planes de emergencia internos y externos en las instalaciones con riesgo de accidentes mayores.

El 2 de diciembre de 1984, en Bophal, India, se produjo un accidente tras la fuga de unas 42 toneladas de isocianato de metilo (MIC) de una fábrica de pesticidas, manejada por Union Carbide India, Limited (UCIL). Reportaron [15] que ocurrió debido a fallas en los equipos y falta de precaución durante las tareas de limpieza y mantenimiento de la planta, causando que el contacto de agua con el gas almacenado, iniciándose una reacción exotérmica que provocó fallas en las válvulas de seguridad de los tanques y la liberación a la atmósfera del gas tóxico. El isocianato de metilo, al entrar en contacto con la atmósfera, se descompone en varios gases formando una nube extremadamente tóxica y letal que, al ser más densa que el aire, se desplaza al nivel de suelo. Los efectos del escape fueron muy rápidos, muriendo miles de personas de forma casi inmediata asfixiadas por la nube tóxica, y muchas otras en accidentes durante la desesperada y caótica evacuación de la ciudad [16]. Se estimó que entre 6.000 y 8.000 personas murieron en la primera semana tras el escape tóxico y al menos otras 12.000 fallecieron posteriormente, afectando a más de 600.000 personas, 150.000 de las cuales sufrieron graves secuelas. Además, perecieron miles de animales y los alrededores del lugar del accidente quedaron seriamente contaminados por sustancias tóxicas y metales pesados. El escape de gas de Bophal es la peor catástrofe química en la historia, cuyos sobrevivientes, todavía hoy sufren secuelas como cáncer, malformaciones congénitas y enfermedades respiratorias. La planta química fue abandonada tras el accidente y después de más de veinticinco años, aún quedan miles de toneladas de sustancias peligrosas, un suministro de agua contaminada y un legado tóxico que sigue causando daños en la India.

La tragedia de Bophal causó un fuerte impacto en la opinión pública y es quizás el accidente más reportado a nivel mundial. Este efecto fue catalizado por la promulgación de nuevas Leyes y normativas, así como la conformación de nuevas estructuras e iniciativas a nivel industrial, profesional académico. La Comunidad Europea, modificó la Directiva Seveso en 1987 y en 1998, incluyendo lo relacionado con

el almacenamiento de sustancias peligrosas. En 1996, se promulgó la Directiva Seveso II, adquiriendo carácter obligatorio para la industria a partir del 3 de febrero de 1999. Esta legislación introdujo importantes cambios y conceptos, una ampliación del alcance y nuevos requisitos relativos a la seguridad, planificación de emergencias y la planificación del uso del suelo. Fue sustituida en el 2003, por la Directiva 2003/105/CE, extendiendo su campo de aplicación para cubrir los riesgos derivados de las actividades de almacenamiento y minería. La Comisión Europea del Ambiente tiene una propuesta que para su reemplazo, con vigencia a partir de junio del 2015 [17].

De igual forma, en los Estados Unidos se realizaron cambios sustanciales en las regulaciones, introduciendo nuevas leyes [18], por ejemplo, el Acta de Enmiendas y Reautorización, SARA (*Superfund Amendments and Reauthorization Act*), y el Acta de Planificación de Emergencias y el Derecho de las Comunidades al Conocimiento, EPCRA (*Emergency Planning and Community Right-To-Know Act*) de 1986, obligando a la industria a preparar y poner a disposición pública la Hoja de Seguridad, (MSDS: *Material Safety Data Sheet*) de los materiales y productos químicos y el establecimiento de los Comités de Planes de Emergencia Locales a través de las regulaciones de la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional, (OSHA: *Occupational Safety and Health Administration*). En 1987, se presentó el primer Inventario de Emisiones Tóxicas realizado por la Agencia de Protección Ambiental, (EPA: *Environmental Protection Agency*) colocando la información a disposición del público como parte de la filosofía de la legislación sobre derecho de las comunidades a saber [19]. Se implantaron una serie de controles para las actividades de la industria química, apareciendo en las regulaciones federales, los estándares para el manejo de la seguridad en los procesos, PSMS (*Process Safety Management Standard*), la lista de sustancias químicas y sus límites máximos de exposición permitidos, los requerimientos de prevención de liberación de emisiones, los programas de manejo de riesgos, RPM (*Risk Management Program*), entre otros. Además, se estableció la Junta de Seguridad Química, CSB (*Chemical Safety Board*) como una agencia federal independiente dedicada a la investigación y revisión de accidentes en la industria, con el fin de determinar las causas y circunstancias que originaron los hechos y prevenir la ocurrencia de accidentes similares.

En Venezuela, la legislación de lo relativo a la higiene, seguridad y prevención de accidentes industriales, tiene sus inicios con la formulación de la Ley de Minas en 1909. En 1928, se promulga la primera ley del Trabajo, aunque la real legislación en prevención de accidentes laborales se creó en el año de 1936, con la formulación de la nueva Ley de Trabajo y su respectivo Reglamento. La Ley Orgánica del Ambiente (1966) estableció los principios rectores para la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente en beneficio de la calidad de la vida. En 1968, entra en vigencia el Reglamento de las Condiciones de Higiene, Seguridad en el Trabajo y en 1974, el Decreto Presidencial N° 2195 [20] que modificó el Reglamento de Prevención de Incendios del año 1974 [21] y la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) desarrolla una intensa labor de estandarización de normas en materia de seguridad. Sin embargo, no es hasta agosto de 1986, cuando se promulga la Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (LOPCYMAT) [22] con el fin de garantizar a los trabajadores, permanentes y ocasionales, condiciones de seguridad, salud y bienestar, en un medio ambiente de trabajo adecuado y propicio para el ejercicio de sus facultades físicas y mentales. En el 2005 se aprobó la reforma de la LOPCYMAT [23] quedando derogadas la Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo de 1986, así como todas las disposiciones legales y reglamentarias que en materia de seguridad y salud en el trabajo que contradigan o que resulten incompatibles con lo dispuesto en la misma. En el 2006, se reforma la Ley Orgánica del Ambiente [24], estableciendo los principios rectores para la gestión del ambiente, en el marco del desarrollo sustentable como derecho y deber fundamental del Estado y de la sociedad, para contribuir a la seguridad y al logro del máximo bienestar de la población y al sostenimiento del planeta, en interés de la humanidad.

Las respuestas del sector industrial se desarrollaron de forma colectiva o global a través de iniciativas por parte de las diferentes asociaciones que agrupan a las industrias. La más notable es *Responsible*

care © una iniciativa global voluntaria de la industria química cuyo objetivo es lograr que las empresas adheridas a este Programa, en el desarrollo de sus actividades, mejoren continuamente la Seguridad, la Protección de la Salud y el Medio Ambiente de acuerdo a los principios del Desarrollo Sostenible. Esta iniciativa, que inicialmente comenzó en Canadá, se ha expandido mundialmente, agrupando a más de 50 países, bajo la gestión de un programa internacional único ICCA (*International Council of Chemical Associations*) [25]. Este programa se implementa a través de un sistema de administración que ofrece un método estructurado, integrado y centrado en siete áreas claves: conciencia en la comunidad y respuesta a emergencias; seguridad; distribución; salud y seguridad de los empleados; prevención de la contaminación; seguridad de procesos y administración de productos. En cada país, está coordinado por la asociación o federación que agrupa a las empresas e industrias químicas, en los Estados Unidos por el Consejo Químico Americano (*American Chemical Council, ACC*) [17], para cuyos miembros la adhesión al programa es obligatoria y su implementación incluye una verificación independiente obligatoria de los sistemas de administración por parte de un tercero. En España, la Federación Empresarial de la Industria Química Española (*FEIQUE*) [26] gestiona el programa *Responsible Care*© y más del 60% del sector químico español ya está adherido al programa y desde su implantación en 1993. En Venezuela es coordinado por la Asociación Venezolana de Industrias Químicas y Petroquímicas (*ASOQUIM*) que agrupa a más de 120 empresas que representan cerca del 80% de la industria química venezolana, de las cuales, 25 habían firmado su adhesión al programa para finales del 2008.

La respuesta académica ante la preocupación pública por la salud y el ambiente y en vista de los accidentes de Flixboroug, Seveso, Bhopal, y otros accidentes industriales que ocurrieron en los siguientes años, no se hizo esperar. El Centro de Seguridad en los Procesos Químicos (*CCPS*) creó en 1992, el programa de formación en Seguridad de la Ingeniería Química, denominado *SACHE* (*Safety and Chemical Engineering Education*) [27] con la colaboración de muchas universidades, con el fin de proveer materiales didácticos y de enseñanza relacionados con la seguridad en la industria, para ser incorporados dentro de la educación a nivel de pregrado y postgrado en Ingeniería Química y otras áreas afines, muy especialmente en aquellos programas que involucren el estudio de procesos y productos químicos y bioquímicos. Los principales logros del Programa *SACHE* son, primero, la preparación de más de 40 módulos y su distribución en los Departamentos de Ingeniería Química para que los profesores los utilizaran en la enseñanza de la seguridad de los procesos, y segundo, la formación de más de 150 profesores de 130 universidades en los talleres de trabajo *SACHE*, quienes han llevado el conocimiento adquirido a sus aulas de clase.

La Junta de Acreditación de Ingeniería y Tecnología, *ABET* (*Accreditation Board for Engineering and Technology, Inc*) [29] de los Estados Unidos, reformuló en el 2002, los criterios para la acreditación de los Programas de Ingeniería Química, incluyendo por primera vez los aspectos relativos a la Seguridad y el Ambiente. El nuevo criterio utilizado para acreditar los Programas de Ingeniería Química en los Estados Unidos, a partir del año 2001, establece [16, 29] que el programa debe demostrar que los graduados tengan bases sólidas en química y un conocimiento práctico de química avanzada, tales como orgánica, inorgánica, analítica, fisicoquímica, química de materiales, biología o bioquímica, seleccionadas de acuerdo a los objetivos del programa; y conocimientos teórico-prácticos, incluyendo los aspectos de seguridad y medio ambiente, de balances de materia y energía aplicados a los procesos químicos; la termodinámica de equilibrios físicos y químicos; transferencia de momento, calor y masa, ingeniería de las reacciones químicas; operaciones de separación continuas y en etapas; dinámica y el control procesos, diseño de procesos; y modernas técnicas tanto experimentales como informáticas. Esta acreditación, tanto de los programas de pregrado como de postgrado, es un proceso voluntario realizado por una agencia independiente, no gubernamental. La *ABET* se encarga de evaluar los programas de Ingeniería y Tecnología, determinando si cumple con los estándares de calidad requeridos.

Estas nuevas exigencias de evaluación dentro de los criterios de acreditación, llevaron a muchas instituciones a integrar la seguridad de los procesos dentro de cursos existentes, tales como los labora-

torios de operaciones unitarias, diseño de reactores y plantas químicas, mientras que otras establecieron cursos obligatorios y electivos dentro de sus programas de estudio, impulsando grandes cambios en la educación, graduando Ingenieros Químicos mucho más conscientes de la seguridad en los procesos y del medio ambiente, así como cambios en las industrias, que permitieron salvar muchas vidas.

El Futuro de la Ingeniería Química

La enseñanza de la Ingeniería Química, además de enfrentar el dilema histórico de, o cubrir las necesidades de la industria o de incorporar nuevos conceptos científicos en el currículo, ha tenido que responder a las necesidades de la sociedad en cuanto a seguridad, salud y preservación del entorno. Los rápidos cambios de la industria química, junto con la aparición de nuevos instrumentos científicos, tecnológicos y de enseñanza, constituyen un reto formidable para la enseñanza de la ingeniería química. La industria y la academia continúan trabajando junto con las organizaciones que evalúan la calidad de los programas, para fijar los criterios que permitan el diseño de planes de estudio y nuevas estrategias curriculares de la Ingeniería Química de siglo XXI [30]. La evolución de los programas existentes exige la identificación de un sutil equilibrio entre las restricciones de la competencia, que pasa por a) controlar las fuerzas de dispersión, es decir, cuán lejos deben adentrarse en dominios tales como la física, la química o la biología, b) mantener las raíces de la disciplina, es decir, operaciones unitarias, balances, el equilibrio y los fenómenos de transporte y c) mantener en mente el eje central de un Ingeniero Químico, por ejemplo, como la capacidad de comunicarse eficazmente y trabajar con químicos, físicos, biólogos, y de encontrar soluciones a los problemas tales como pasar "del laboratorio a la planta" [1]. La globalización ha afectado la práctica de la Ingeniería Química, los profesionales actualmente requieren de diferentes habilidades a las requeridas hace 15 años atrás. Los equipos de trabajo, además de multidisciplinarios, son frecuentemente multinacionales, de modo que se requiere la habilidad para trabajar con colegas de diferentes culturas, con conocimiento y sensibilidad multicultural. Por lo que, el Ingeniero Químico hoy en día, además de ser capaz de diseñar, operar y controlar procesos industriales destinados a la generación de productos, debe ser consciente del enfoque sustentable en el uso de las fuentes de energía y materias primas y debe ser capaz de trabajar con altos estándares de seguridad, responsabilidad y sensibilidad social y ambiental.

Referencias bibliográficas

1. Favre E., Falk, V., Roizard C., and Shaer E. (2008) Trends in chemical engineering education: Process, product and sustainable chemical engineering challenges. *Education for Chemical Engineers*, 3: e22-e27.
2. Perkins, J. D. (2003) Chemical Engineering – the First 100 Years. In *Chemical Engineering: Vision of the World*. R.C. Darton, R.G.H. Prince and D.G. Wood (Editors). Elsevier Science B.V. Chapter 2. p 11-40.
3. Reynolds T.S. (1983) 75 Years of Progress – A History of the American Institute of Chemical Engineers 1908-1983, AIChE, New York.
4. Morton, F. (1982) A Short History of Chemical Engineering in the North-West of England. In: *A Century of Chemical Engineering*. Furter W. F. Editor. Plenum Press, New York.
5. Kramers, H. (1989) Chemical Engineering in the Netherlands 1935-1965. In: *One Hundred Years of Chemical Engineering*. Peppas N. A. Editor. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
6. Divall C. y Jhonston S.F. (2000). *Scaling Up – The Institution of Chemical Engineers and the Rise of a New Profession*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

7. Shemilt L.W. (1980). A Century of Chemical Engineering Education in Canada. In: History of Chemical Engineering. Advances in Chemistry Series N° 190, Furter W. F. Editor, ACS. Washington.
8. Brown, G.G. (1950). Unit Operations. John Wiley & Sons, NY.
9. Smith J. M. (1956). Chemical Engineering Kinetics. Mc Graw Hill, NY.
10. Bird, R.B., Stewart, W.E. and Lightfoot, E.N. (1960). *Transport Phenomena*. First Edition. Wiley, New York.
11. Bird, R.B., Stewart, W.E. and Lightfoot, E.N. (2001). *Transport Phenomena*. Second Edition. Wiley, New York.
12. Kletz T. (1990) Dispelling Chemical Engineering Myths. 3rd Edition. Taylor & Francis, London. P. 66-67.
13. Aparicio F, J.A. Seveso 1976 (2001) disponible en electrónico en <http://www.proteccioncivil-andalucia.org/Documentos/Seveso.htm>. Consultado el 27 de enero de 2011.
14. Directive 82/501/EEC of 24 June 1982 on the major accident hazards of certain industrial activities (Official Journal of the European Communities No L 230 of 5 August 1982. Disponible en <http://mahbsrv.jrc.it/downloads-pdf%5CSeveso1-LEG-EN.pdf>.
15. Kletz, (1985) Trevor A. What went wrong? Case Histories of Process Plant Disasters. Houston Gulf Publishing Company.
16. De Grazia A. (1985). A Cloud over Bhopal. Causes, Consequences and Constructive Solutions. First Edition. Published by the Kalos Foundation for the India –American Committee for the Bhopal Victims. Metron Publications, Princeton, NJ 08542.
17. European Commission Environment. Chemical Accidents (Seveso II) In: <http://ec.europa.eu/environment/seveso/legislation.htm>. Consultado el 27 de enero de 2011.
18. Willey R. J., Crowl D. A. y Lepkowski W. (2005). The Bhopal tragedy: its influence on process and community safety as practiced in the United States. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 18: 365–374.
19. American Chemical Council. Responsible Care. Consultado el 8 de febrero de 2011 en: http://www.americanchemistry.com/s_responsiblecare/sec.asp?CID=1289&DID=4841.
20. Decreto Presidencial N° 2195. Reforma del Reglamento de Prevención de Incendios. República de Venezuela. Gaceta Oficial N° 30.375 Extraordinario de fecha 17 de agosto de 1983.
21. Reglamento de Prevención de Incendios. República de Venezuela. Gaceta Oficial N° 30.375 E de fecha 16 de abril de 1974.
22. LOPCYMAT (1986) Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo. República Bolivariana de Venezuela. Gaceta Oficial N° 3.850 Extraordinario de fecha 18 de julio de 1986.
23. LOPCYMAT (2005) Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo. República Bolivariana de Venezuela. Gaceta Oficial 38236 del 26 de julio de 2005.
24. Ley Orgánica del Ambiente (2006) República Bolivariana de Venezuela. Gaceta Oficial N° 5.833 Extraordinario de fecha 22 de diciembre de 2006.
25. ICCA. International Council of Chemical Associations. *Responsible Care*. Consultado el 8 de febrero de 2011 en <http://www.icca-chem.org/Home/ICCA-initiatives/Responsible-care>.

26. FEIQUE. Federación Empresarial de la Industria Química Española. Disponible en: <http://www.feique.org/>. Consultado el 6 de febrero de 2011.
27. SACHE. Safety Chemical Engineering Education. Disponible en: <http://www.sache.org/>.
28. ABET. Accreditation Board for Engineering and Technology. In: <http://www.abet.org/>.
29. ABET. Accreditation Board for Engineering and Technology. Disponible en: <http://www.abet.org/Linked%20Documents-UPDATE/Program%20Docs/abet-eac-criteria-2011-2012.pdf>. Consultado el 6 de febrero de 2011.
30. Cobb, J. T. Jr., Patterson, G. K. y Wickramashinghe, S. R. (2007). The Future of Chemical Engineering – An Educational Perspective. *Chemical Engineering Progress*, 103 (1): 30S-35S.