

Principales logros de la Ingeniería Química según AIChE: (1) Síntesis del amoníaco, (2) Producción de antibióticos a escala industrial, (3) Establecimiento de la industria de plásticos, (4) Producción de isótopos fisionables, (5) Desarrollo de la industria petroquímica, (6) Producción de fibras artificiales, (7) Fabricación de aluminio electrolítico, (8) Desarrollo de la industria del caucho sintético, (9) Producción de fertilizantes, (10) Producción de gasolinas de alto octanaje.

Historia de la Ingeniería Química

a) Antecedentes

En 1818 se fundó el Instituto de Ingenieros Civiles de Inglaterra (Institute of Civil Engineers) con la finalidad de fomentar la adquisición de los conocimientos que requiere el ejercicio de la ingeniería civil (*Johnson, 1979*). Veintiún años después, la palabra Ingeniero Químico apareció por primera vez en el «Dictionary of Arts, Manufacturing and Mines» para representar a un ingeniero asociado a los procesos químicos. El intento de G.E. Davies, a la sazón inspector de industrias en la región de Manchester, de establecer una sociedad de ingenieros químicos en 1880, fue el punto de partida para la organización de la ingeniería química como disciplina. Al año siguiente se creó la Sociedad Británica de Química Industrial (British Society of Chemical Industry) eludiendo deliberadamente el término «ingeniería». En realidad, los técnicos y científicos que llevaron a cabo la expansión de la industria química durante el siglo pasado, se consideraban químicos y no ingenieros (*Lewis, 1959*).

La mayor contribución de Davies al nacimiento de la Ingeniería Química se produciría algunos años más tarde con ocasión de un curso que impartió en la Escuela Técnica de Manchester (Manchester Technical School). En él, indicó que los principios subyacentes a la práctica de la química industrial eran reducidos en número y que una formación eficaz de los profesionales encargados de la misma debía de reposar sobre la enseñanza de estos principios en lugar de profundizar en el detalle de cada industria específica. Algunas de las conferencias se publicaron en el «Chemical Trade Journal» en el año 1887, el mismo en que se impartió el curso que más tarde se publicaría completo en 1901 con el título de «Handbook of Chemical Engineering». La segunda edición data tan solo de 1904 y en ella Davies comenta: «aunque el ingeniero químico debe poseer un conocimiento casi perfecto de la química aplicada, no se debe olvidar que su misión fundamental es la de adecuar, construir y mantener una serie de equipos para la realización de ciertas operaciones industriales» (*Davies, 1904*). En su libro, Davies considera también la importancia de efectuar los diseños de equipos industriales partiendo de los datos obtenidos a escala más reducida y trata en detalle algunos procesos unitarios.

A pesar de que la concepción de Ingeniería Química tiene lugar en Inglaterra, ésta se desarrollará fundamentalmente en los Estados Unidos, donde tomará pronto la forma en la que hoy a conocemos. La razón de este hecho parece residir en la distinta concepción de las enseñanzas técnicas en el nuevo continente. Así, Alexis de Tocqueville en su obra en dos volúmenes acerca de la democracia en América señala que « [...] en América, la parte meramente práctica de la ciencia se comprende de forma admirable a la vez que se presta cuidadosa atención a aquella parte de la teoría que es necesidad inmediata de la aplicación. No obstante, apenas nadie en los Estados Unidos dedica su trabajo a las porciones esencialmente teóricas y abstractas del pensamiento humano» (*van Antwerpen, 1980*).

Cierto es que en los Estados Unidos los desarrollos adquiridos en Europa son asimilados, perfeccionados y adaptados con rapidez y habilidad y que existe un personal cuya mentalidad está muy lejos del cultivo de la ciencia de la fabricación (*Lewis, 1959*). No obstante, para comprender por qué el centro de gravedad de la ingeniería química se desplazó hacia América con tanta rapidez en el mismo momento de su nacimiento formal, es preciso señalar algunas de las condiciones que imperaban en la industria europea de la época.

A finales del siglo pasado Inglaterra poseía la supremacía de lo que se puede llamar industria química pesada a la que pertenece la fabricación de ácido sulfúrico, sosa y lejías blanqueadoras. A través de una serie de maniobras no siempre transparentes, Inglaterra desplazó en casi todos los mercados a las industrias químicas francesas y conquistó incluso el incipiente mercado de los Estados Unidos (*Haber, 1958*). Sin embargo, el crecimiento de la industria británica se debió más a un aumento del tamaño y la eficacia de las máquinas que a la incorporación de nuevos descubrimientos científicos o a la mejora de la preparación del personal. Como consecuencia de estas limitaciones, si bien la industria química inglesa de la última década del siglo aún era la mayor del mundo, mostraba ya claros síntomas de obsolescencia. La causa de la decadencia es que el desarrollo británico no se debió nunca a un claro empuje tecnológico, sino más bien al hecho de haber desarrollado las industrias mecánicas antes que otros países (*Guédon, 1980*). Como consecuencia de la débil infraestructura británica, en el año 1925 se reconoció por primera vez de forma explícita la superioridad norteamericana en el desarrollo de la Ingeniería Química (*Ibl, 1968*).

En el caso de Francia, resulta interesante observar la evolución de las enseñanzas técnicas y su interrelación con el desarrollo de la industria química. Efectivamente, Francia fue el primer país donde se organizó la educación técnica en gran escala articulada en el sistema de «Grandes Écoles». No obstante, desde sus inicios, las «Écoles» se orientaron hacia las ciencias teóricas y el sistema de acceso a las mismas primaba las matemáticas y la física más abstracta. La química, en cambio, debido a su escaso nivel de formalización tenía un peso muy inferior. El defecto de infravalorar los conocimientos técnicos en el acceso a una profesión supuestamente técnica ha sido ya ampliamente comentado por muchos autores (*Leclerc, 1917; Mouton, 1974*). Paradójicamente, los mejores desarrollos aplicados se cimentaron en las Facultades, consideradas centros de segunda fila. Así, aunque en Francia existieron desde muy pronto ingenieros químicos, tanto éstos como los químicos industriales estuvieron siempre en una posición de inferioridad frente a los ingenieros de las «Grandes Écoles». Un cuerpo de ingenieros químicos carente de una unidad de formación, una industria pesada restringida a la elaboración de sosa Le Blanc y ácido sulfúrico, la falta de preparación industrial general de la sociedad francesa y la influencia del poderoso vecino alemán (recuérdese la derrota de 1870) motivaron una situación de clara inferioridad de Francia ante el desarrollo de la ingeniería química.

El caso alemán es claramente distinto. En Alemania, además de un equilibrado y bien desarrollado sistema de universidades, las enseñanzas técnicas estaban bien organizadas, bien consideradas y contaban con un número muy elevado de estudiantes (*Lexis, 1904*). En la década que precedió a la Primera Guerra Mundial, Alemania formaba con gran calidad a unos 3000 ingenieros por año (*Pyenson y Skopp, 1977*). Por otro lado, los técnicos formados en las universidades se integraban perfectamente en una estructura industrial distinta de la británica y la francesa. En Alemania, y precisamente a causa de la competencia inglesa, la industria pesada no se llegó a desarrollar demasiado en este periodo; En cambio, la industria química

alemana se articuló sobre la fabricación de colorantes y de productos farmacéuticos, a las que se añadieron otras ramas, todas ellas susceptibles de recibir un gran beneficio de la capacidad científica de los técnicos disponibles.

A pesar de lo expuesto con anterioridad, la figura del ingeniero químico en Alemania no se creó hasta muy tarde y sus funciones fueron desarrolladas con frecuencia y hasta muy recientemente por técnicos con titulación diferente (*Fletcher, 1960*). A tal efecto considérense las palabras de Karl Duisberg, primero ejecutivo de la Bayer y después presidente del Interessen-Gemeinschaft der Farbenindustrie; nótese que la solución propuesta prácticamente evita la aparición de un ingeniero químico en el sentido norteamericano del término: «En oposición a muchos de mis colegas, mi punto de vista es que el químico no requiere necesariamente de la ingeniería. En mi opinión nada es peor que hacer de un químico un ‘ingénieur chimiste’ como en Francia o un ‘chemical engineer’ como sucede en Inglaterra. El campo de la química que debe dominar el químico es hoy por hoy tan grande que es prácticamente imposible para él estudiar a la vez mecánica, que es el terreno específico del ingeniero. Dejo al químico y al ingeniero en sus respectivas ciencias, pero deseo que trabajen juntos» (*Duisberg, 1931*).

Se ha apuntado con frecuencia a razones estructurales en la industria europea de la época para explicar la magnitud y rapidez de la supremacía norteamericana. Devys y Rowell (*Devys y Rowell, 1961*) señalan como factores negativos además de la relativamente menor escala de las operaciones industriales en el viejo continente, la división en múltiples estados y lenguas e incluso la existencia de varios sistemas distintos de medidas. Estas dificultades constituyen una auténtica «resistencia a la transferencia de conocimientos» acentuada por la falta de contactos científicos y técnicos entre ambos continentes durante la primera parte del siglo XX.

b) AIChE y MIT

Así pues, pese al innegable origen europeo de la Ingeniería Química, su sistemática y su inclusión como tal en los planes de estudio se realizó en los Estados Unidos. El propio Lewis (*Lewis, 1959*), uno de los introductores de las enseñanzas en Ingeniería Química en el M.I.T., reconoce que Hausbrand, un químico alemán que publicó un libro sobre destilación y rectificación en 1893, es el padre del moderno tratamiento de las operaciones unitarias, nombre que sería acuñado por Arthur D. Little en 1915, ya en Estados Unidos.

La fundación en 1908 del «American Institute of Chemical Engineers» (AIChE) con el objeto de impulsar, apoyar y facilitar la comunicación entre los ingenieros químicos, contribuyó de forma decisiva al desarrollo de la Ingeniería Química en Estados Unidos. Su rápida implantación contrasta con los avatares que sufriera durante más de cuarenta años la institución homóloga británica «Institution of Chemical Engineers».

En 1888, el profesor Lewis Mills Norton organiza el primer curso de Ingeniería Química en el Departamento de Química del Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.). El curso fue básicamente descriptivo de los principales procesos comerciales de fabricación y corresponde a lo que hoy llamaríamos Química Industrial. Se trató básicamente del estudio de los problemas ingenieriles relacionados con la fabricación de productos químicos concediendo un interés especial a las operaciones mecánicas. Norton diferenció claramente la química de una

industria específica con las operaciones mecánicas y físicas que son comunes a varias industrias. La importancia de la intervención de Norton radica en la formación de un grupo extraordinariamente activo de ingenieros químicos en el M.I.T. formado por A. A. Noyes, W. H. Walker, A. D. Little, W. K. Lewis y W. McAdams entre otros. Todos ellos marcaron el inicio del sistema norteamericano de educación de la Ingeniería Química. A finales del siglo pasado se fundaron con rapidez los primeros departamentos de ingeniería química en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (1888), y en las universidades de Pennsylvania (1892), Tulane (1894) y Michigan (1898).

La fundación en 1881 de la «Society of Chemical Industry», fue seguida del establecimiento en 1908 de la primera sociedad profesional específica de los ingenieros químicos: «American Institute of Chemical Engineers», conocido universalmente como AIChE. Una organización similar, «Institution of Chemical Engineers», se fundó en Gran Bretaña en 1922 y sus actividades abarcan aún hoy el continente Australiano. La ingeniería química en Canadá tiene su propia sociedad profesional con el «Chemical Institute of Canada». La actividad de la poderosa «American Chemical Society» se extiende a la ingeniería química tan sólo en lo que respecta a publicaciones y a organizaciones de simposios y nunca como representante de un cuerpo de profesionales, labor desempeñada por la AIChE.

En un principio, la cuestión más importante fue la suscitada por el problema del enfoque a través de las operaciones básicas, ampliamente tratado en la época por la AIChE. El concepto de operaciones unitarias fue desarrollado por Walker y Little en 1915. Walker, desde su cargo en la dirección del laboratorio de química industrial, puso el énfasis en los mecanismos fundamentales del proceso antes que en la descripción de éste o del equipo. Su objetivo era poner al técnico en disposición de transformar los métodos existentes y desarrollar otros más efectivos. Por otro lado, su técnica pedagógica pretendía efectuar un tratamiento cuantitativo de cualquier proceso a fin de estimular intelectualmente al alumno además de prepararlo para su futuro trabajo en la industria. Little concibió claramente que cada una de las manipulaciones de la tecnología química eran con frecuencia empleadas en cierta variedad de industrias, y que por lo tanto, podían ser estudiadas independientemente de estas. Por otro lado reconoció el hecho de que si bien las técnicas de la industria química descansan sobre la estructura de los principios científicos y leyes básicas conocidas, se requiere un enfoque ingenieril de las mismas que permita su fácil comprensión y aplicación por el alumno. Las expresiones cuantitativas por medio de las cuales se accedió al tratamiento de estas operaciones constituye el trabajo de Lewis, Walker y McAdams publicado en 1923 con el título «Principles of Chemical Engineering». Pronto se publicó la segunda edición y luego una tercera de la cual Gilliland fue coautor. La importancia de la introducción del concepto de operación unitaria fue fundamental en cuanto a la definición concreta del ámbito de actuación del ingeniero químico en la industria y motivó el rápido reconocimiento de la Ingeniería Química como disciplina independiente con una metodología propia. Además de esto, constituye el pilar sobre el cual se edificó la enseñanza del ingeniero químico eliminándose definitivamente el tratamiento vertical de la tecnología de cada proceso químico en favor de una unificación horizontal (*Licht, 1959*).

c) Períodos y textos

Hougen (*Hougen, 1977*) divide la historia de la Ingeniería Química desde 1905 (año en que se crea el «School of Chemical Engineering Practice» en el «Massachusetts Institute of

Technology») hasta 1975 en siete etapas correspondientes cada una de ellas a un periodo de diez años marcado por cierto tipo de acontecimientos fundamentales. Su segunda década, que denomina Década de las Operaciones Unitarias, se cierra con la publicación del libro «Principles of Chemical Engineering». El periodo siguiente, que abarca aproximadamente de 1925 a 1935, se caracteriza por la generalización del empleo de los balances de materia y energía para estudiar la operación de los subsistemas químicos. En esta época aparecen algunos libros que tratan ya de forma moderna la cuantificación de las operaciones unitarias. Así, aparece «Metallurgical Calculations» de J.W. Richards (1906), «Industrial Stoichiometry» de W.K. Lewis y A.H. Radasch (1926) y «Industrial Chemical Calculations» de O.A. Hougen y K.M. Watson (1931). Este último se reeditaría más tarde con el título de «Chemical Process Principles» (1943) en dos tomos, uno de ellos dedicado a termodinámica y otro a los balances de materia y energía. La década que va desde 1935 hasta el final de la Segunda Guerra Mundial se caracteriza por la importancia que adquiere la Termodinámica aplicada a la Ingeniería Química así como el Control de Procesos especialmente en lo que respecta a la instrumentación de medida. Los curricula de las enseñanzas en Ingeniería Química se reducen progresivamente en mecánica y en química industrial. En esta época aparecen «Chemical Engineering Thermodynamics» de F. Dodge (1944), «Thermodynamics for Chemical Engineers» de H.C. Weber (1939), «Adsorption and extraction» de T.K. Sherwood (1937) y «Chemical Industries» de N. Shreve (1942). Entre 1945 y 1955 se abandona definitivamente la química industrial descriptiva y a partir del libro de Hougen antes reseñado comienza el desarrollo de la cinética aplicada. Aparecen en esta época los libros «Unit Operations» de G.G. Brown (1950), en el que se clasifican por primera vez las operaciones básicas en tratamiento de sólidos, transporte de fluidos, transferencia de materia y transmisión de energía y «Chemical Engineering Kinetics» de J.M. Smith (1956). En la década siguiente se produce un intenso desarrollo científico basado en los fenómenos de transporte. Se publica el libro «Transport Phenomena» de R.B. Bird, W.E. Stewart y E.N. Lightfoot (1960) que sienta definitivamente las bases de la moderna ciencia de la Ingeniería Química. De esta forma, las operaciones básicas quedan agrupadas de acuerdo con la transferencia que en ellas se produzca. En la misma línea cabe citar los libros «Heat, Mass and Momentum Transfer» de W.M. Roshenow y H. Choi (1961) y «Momentum, Heat and Mass Transfer» de C.O. Bennet y J.E. Myers (1962). En 1957 se celebra en Amsterdam un Congreso de Ingeniería Química que se perfila el concepto de Ingeniería de las Reacciones Químicas, introduciéndose por primera vez este término para significar el estudio de los procesos de reacción que tienen lugar en la Industria Química. Se publican los libros «Reaction Kinetics for Chemical Engineers» de S.W. Walas (1959), «Chemical Reactor Engineering» de O. Levenspiel (1962), «Chemical Reactor Design and Operation» de Kramers y Westerterp (1963), «Chemical Reactor Theory» de Denbigh (1963) y «Introduction to the Analysis of Chemical Reactors» de Aris (1963). Hougen se refiere a la década de 1965 a 1975, la última que considera, bajo el epígrafe de la interdisciplinariedad. De la Ingeniería Química tradicional se despegan nuevas ramas en contacto con otras áreas de la ciencia y de la ingeniería como son las tecnologías de polímeros y plásticos, la bioingeniería y la tecnología de alimentos. Tanto el control como la simulación de procesos químicos comienzan a adquirir gran importancia en esta época, siendo progresivamente introducidos en los planes de enseñanza de las escuelas y facultades donde se forman los ingenieros químicos.

J.C. Elgin propone una clasificación diferente de la historia de la Ingeniería Química. Para él, la primer etapa del desarrollo de la misma abarca desde 1880 hasta 1920 y está caracterizada por la permanencia del carácter de arte. Podría denominarse era de la Química Industrial. En los años veinte comienza la época de las operaciones básicas que se extiende hasta 1950

aproximadamente. Después de la Segunda Guerra mundial se produjo un agotamiento gradual de la investigación en problemas relacionados con la operaciones unitarias. Paralelamente, la insatisfacción provocada por la descripción empírica de muchos procesos, provocó que las operaciones básicas comenzasen a reexaminarse desde un punto de vista más fundamental. Se desarrollaron modelos moleculares para describir los fenómenos que tienen lugar en los equipos de la industria química y comenzó la modelización matemática de reactores y procesos. En esta época se generaliza lo que se ha dado en llamar la Ciencia de la Ingeniería Química.

d) Evolución reciente

En los últimos años, la Ingeniería Química ha sufrido una importante evolución y diversificación. Proctor (1988) indica que *«la Ingeniería Química es la profesión cambiante y el cambio de la Ingeniería Química es inevitable; pero lo que sucede hoy en la profesión no tiene precedentes. Lo que estamos contemplando ahora no es una dislocación temporal que retornará a la situación habitual tras un par de años, sino una discontinuidad»*. Los ingenieros químicos se han ramificado y han encontrado nuevas oportunidades profesionales en áreas emergentes, como la biotecnología, el procesado de materiales avanzados y la fabricación de componentes electrónicos, por citar sólo algunas áreas significativas. Esta diversidad implica la dificultad de selección entre los nuevos campos emergentes y la necesidad de conservar cierta unidad de pensamiento y acción, característica esta que ha fortalecido en el pasado a la Ingeniería Química (San, 1989).

A lo largo de toda la Historia de la Humanidad, el futuro inmediato se ha contemplado como una encrucijada fundamental y un punto de referencia clave para los acontecimientos subsiguientes. En ello hay parte de razón y parte de la expresión inconsciente del temor hacia el futuro. Neal R. Amundson y colaboradores (*Committee on Chemical Engineering Frontiers: Research Needs and Opportunities*) predicen «una confluencia de avances intelectuales, retos tecnológicos y tendencias económicas que conformarán un nuevo modelo de lo que será la Ingeniería Química y la labor del ingeniero químico» (Amundson et al., 1988). En cualquier caso, tanto si la confluencia aludida es real como literaria, lo cierto es que los desafíos tecnológicos y económicos actuales deberán determinar la evolución de la industria y configurar el aspecto de la Ingeniería Química de la primera parte del siglo XXI. Amundson señalaba en 1988 que *«en los próximos diez a quince años, la Ingeniería Química se verá envuelta en la realización de retos que abarcan un amplio abanico de disciplinas intelectuales y escalas, desde la molecular a la planetaria, y los ingenieros químicos, con su fuerte base en ciencias moleculares, serán los investigadores interfase capaces de tender el puente entre ciencia e ingeniería en ambientes multidisciplinares donde se pondrá en marcha todo un abanico de nuevas tecnologías»*. Ya han pasado quince años indicados y resulta notoria la sobredimensión de expectativas del informe, que tenía más de propaganda interna para profesionales que de prospectiva objetiva. Con más realismo, el *Fourth World Congress of Chemical Engineering. Strategies for 2000*, celebrado en Karlsruhe en 1991, indicaba como áreas con mayor perspectiva de evolución para el fin de siglo (i) el desarrollo de modelos matemáticos adaptados a la potencia de los nuevos ordenadores, (ii) la modificación de procesos o productos basadas en consideraciones ambientales, (iii) el cambio las estimaciones económicas de rentabilidad al considerar en el análisis no sólo el coste de fabricación sino el ciclo completo de vida del productos incluyendo su utilización o reciclado y (iv) la mejora de

la intensidad energética de los procesos. Todos estos son aspectos fácilmente reconocibles como básicos para la industria química de principios del siglo XXI.

La propia sistemática de la Ingeniería Química se encuentra en evolución. Si bien, el cambio no ha cesado nunca desde su establecimiento como disciplina, la aparición de nuevos problemas y nuevas herramientas genera una crisis evolutiva especialmente intensa que fuerza a superar los enfoques clásicos (*Caruana, 1987*). La Ingeniería Química ha descansado en primer lugar sobre las Operaciones Básicas y después sobre los Fenómenos de Transporte. Wei (*1988*) indica que en el pasado, la atención de la Ingeniería Química se centró en aspectos tales como modelizar el funcionamiento de reactores químicos y de las operaciones unitarias de separación; es decir, el objeto de estudio fue la mesoescala o escala intermedia de tamaño. En el futuro, el desarrollo de la Ingeniería Química debiera seguir las direcciones divergentes a partir de ésta, y así, el énfasis deberá centrarse en la microescala (nivel molecular) y en la macroescala (conjuntos de muchas operaciones). En el nivel molecular cabe citar como retos la catálisis biológica y el transporte de grandes moléculas en membranas o estructuras porosas. En cuanto a la macroescala, la modelización y el control de plantas complejas será accesible con el aumento de la potencia de los ordenadores. En este sentido, Villermaux (*1993*) resalta que la complejidad encontrada en los procesos industriales ha conducido a los ingenieros químicos a desarrollar nuevos conceptos y métodos que requieren una aproximación integrada relativa a procesos simultáneos y a menudo acoplados que suceden en escalas muy distintas de tiempos y espacio.

Mashelkar (*1995*) sostiene que las nuevas necesidades requieren una colaboración interdisciplinar entre científicos e ingenieros de diferentes disciplinas ya que los avances son, cada vez más, la resultante de numerosas ideas creativas fruto de una colaboración interdisciplinar. Mashelkar cita ejemplos fácilmente reconocibles entre las tendencias industriales actuales como la aparición de la nanotecnología y de la química supramolecular o el estudio de sistemas regidos por dinámicas no lineales como procedentes de la teoría del caos. El autor pone énfasis en un problema bien conocido que se asocia a la interdisciplinariedad, que es la dificultad para el reconocimiento de logros en las áreas frontera debido a la resistencia de los profesionales «clásicos» de los campos en interrelación. Para Durrell (*1991*), es notoria «*la exigencia de equipos de ingenieros y científicos con distinta formación básica que manejen problemas de forma colectiva, atravesando las fronteras que imponen las disciplinas tradicionales*». Las áreas que han liderado esta demanda de sinergia disciplinar son las relacionadas con la salud y la alimentación, y las implicadas en la conservación del medio y la utilización y reutilización de recursos limitados (*Sommer, 1994*).

El futuro de la Ingeniería Química depende por tanto de la evolución de las necesidades sociales que debe afrontar. El ingeniero químico ha de estar preparado para hacer frente a la continua evolución de la industria química y a los eventuales cambios imprevistos y escenarios inesperados a los que deberá de hacer frente a lo largo de su trayectoria profesional. En palabras de Bodman (*1991*), «*no hay seguridad automática de que se puedan mantener indefinidamente éxitos pasados, de forma que la Ingeniería Química debe adaptarse continuamente a condiciones cambiantes*». En este sentido, un profundo conocimiento de los principios fundamentales de la ciencia de la Ingeniería Química es la única garantía de que la labor del ingeniero químico se pueda desarrollar con éxito en los casos concretos en los que deba intervenir. No en vano una buena parte del éxito de la Ingeniería Química proviene del hecho de que fue la primera disciplina ingenieril que reconoció la íntima relación existente entre ciencia básica, diseño y fabricación. Los principales factores de

cambio cuya influencia debe mantenerse en el futuro son: (i) La aparición de nuevos materiales que se espera sea intensa durante las próximas dos décadas. Es previsible la generalización de materiales cuya estructura molecular es vital para las propiedades que requiere su empleo. Este tipo de productos, precisarán de métodos de fabricación capaces de controlar con gran exactitud su composición y estructura con el reto consiguiente para los ingenieros de diseño de procesos. (ii) La competición por la conquista y el mantenimiento de los mercados mundiales que precisa, en una época de globalización más que en ninguna otra, del mantenimiento de una alta calidad y un mayor rendimiento del proceso de fabricación. Simultáneamente, los países con una dependencia acusada de la energía importada deberán incrementar su atención que prestan al desarrollo de fuentes de energía propias. La clave para responder a estos desafíos es la innovación en el diseño de procesos, el control y las operaciones de fabricación. (iii) Por último, aunque tal vez por su importancia debiera figurar en primer lugar, la preocupación de la sociedad de los países más industrializados hacia los impactos ambientales de la actividad humana en general y de la industria química en particular. Los riesgos para la salud derivados de la producción, transporte, utilización y vertido de los productos químicos y materiales de desecho resultan cada vez menos tolerables a un gran sector de la población. Piénsese, por ejemplo, en el impacto social de sucesos tales como el accidente de Bophal en una planta de Union Carbide en 1985 y la contaminación de río Rin en 1986 por parte de una empresa farmacéutica.

La preocupación ética, social y ambiental es tal vez el principal impulso de cambio que está recibiendo la ciencia y la ingeniería y los ingenieros químicos están en una situación privilegiada para materializar esta exigencia social (*Mascone, 1991*). Palazuela (*1991*) indica que «*a corto plazo la política de producir, contaminar, y si me multan, discutir, no va a ser viable. La alternativa será tratar los vertidos o cerrar*». En Estados Unidos, la Carnegie Commission on Science, Technology and Government, señaló recientemente que la responsabilidad de perseguir fines sociales a largo plazo no reside únicamente en la comunidad de científicos e ingenieros, sino también en los ámbitos gubernamentales, industriales, académicos y políticos, que comparten la responsabilidad de la aplicación de la Ciencia y la Tecnología a la consecución de objetivos sociales. En definitiva, corresponde a toda la sociedad decidir si desea un modelo de desarrollo racional o mantenerse sometida a leyes socioevolutivas desconocidas (*Popoff, 1993*).

Referencias

- Amundson, N.R.** y otros (Committee on Chemical Engineering Frontiers: Research Needs and Opportunities), *Frontiers in Chemical Engineering. Research Needs and Opportunities*, N. Winchester y R. Price Eds., National Academy Press, Washington D.C., 1988.
- Bodman, S.**, *Chemical Engineering in Today's Economy*, Chem. Eng. Progress, 12, 21, 1991.
- Caruana, C.M.**, Neal Amundson Assesses a Changing Profession, Chem. Eng. Progress, 12, 76, 1987.
- Davies, G.E.**, *A Handbook of Chemical Engineering*, Vol. I, Davies Bros., Manchester, 1904.
- Devys, J.G., Rowell, G.M.**, L'ingénieur du génie chimique en Europe, Génie Chimique, 85, 117, 1961.
- Duisberg, K.**, The Education of Chemists, J. Soc. Chem. Ind., 7, 21, 1931.
- Durrell, W.S.**, The Industrial Chemist of the 90's, Chemtech, 6, 332, 1991.
- Fletcher, H.J.**, Karl Duisberg vom Chemiker zum Wirtschaftsführer, Econ-Verlag, Düsseldorf, 1960.
- Guédon, J.C.**, Conceptual and Institutional Obstacles to the Emergence of Unit Operations in Europe, en W.F. Furter Ed., "History of Chemical Engineering", ACS Series 190, American Chemical Society, Washington D.C., 1980.
- Haber, L. F.**, *The Chemical Industry During the Nineteenth Century*, The Clarendon Press, Oxford, 1958.

- Hougen, O.A.**, Chemical Engineers and how They Grow, *Chemtech*, 10, 10, 1979.
- Ibl, N.**, Trends in Chemical Engineering, *Chimia*, 22, 165, 1968.
- Johnson, A.H.O.**, History and Development of Process Engineering, *Chem. Ind.*, 15, 496, 1979.
- Leclerc, M.**, La formation des ingénieurs à l'Etranger et en France, A. Colin, Paris, 1917.
- Lewis, W.K.**, Evolution of the Unit Operations. *Chem. Eng. Progress Symp. Ser. 55*, AIChE, 1959.
- Lexis, W.**, Das Unterrichtswesen im deutschen Reich, Asher, Berlin, 1904.
- Licht, W.**, Present Status of the Unit Operations, *Chem. Eng. Progress Symp. Ser. 55*, AIChE, 1959.
- Mascone, C.F.**, Engineering Ethics. What are the Right Choices?, *Chem. Eng. Progress*, 4, 61, 1991.
- Mashelkar, R.A.**, Seamless Chemical Engineering Science: the Emerging Paradigm, *Chem. Eng. Sci.*, 50, 1, 1991.
- Mouton, M.R.**, L'enseignement supérieur en France de 1890 à nos jours. Etude statistique, en "La scolarisation en France depuis un siècle", Mouton, Paris, 1974.
- Palazuela, P.**, Hacia el año 2000, *Ingeniería Química*, 23, 165, 1991.
- Popoff, F.**, The Challenge for Industry, *Chemtech*, 1, 8, 1993.
- Proctor, S.I.**, Chemical Engineering, the Changing Profession, *Chem. Eng. Progress*, 4, 20, 1988,
- Pyenson, L., Skopp, D.**, Educating Physicists in Germany 1900, *Social Studies of Science*, American Chemical Society, Washington D.C., 1977.
- Sommer, H.**, Tendencias en el desarrollo y procesos de la industria química, *Química e Industria*, 4, 251, 1994.
- van Antwerpen, F.J.**, The Origins of Chemical Engineering, en W.F. Furter Ed., "History of Chemical Engineering", ACS Series 190, American Chemical Society, Washington D.C., 1980.
- Villiermaux, J.**, Future Challenges for Basic Research in Chemical Engineering, *Chem. Eng. Sci.*, 48, 2525, 1993.
- Wei, J.**, Educating Chemical Engineers for the Future, en Sandler y Finlayson Eds., "Chem. Eng. Education in a Changing Environment", AIChE, Nueva York, 1988.