

INGENIERIA QUIMICA.

NOTAS SOBRE SU ORIGEN Y EVOLUCION

Ing. Quím. (Acad). Miguel A. Zunino

Introducción

La historia de la Ingeniería Química es corta y reciente y por lo tanto bastante fácil de dilucidar. El mecanismo por el cual se diferenció de otras ciencias afines hasta alcanzar su propia identidad fue relativamente sencillo y bastante definido, tal como lo veremos más adelante. Como siempre ocurre, esto sucedió para satisfacer una necesidad impuesta por el medio y también, como siempre ocurre, el cumplimiento de la tarea precedió a las definiciones y a los nombres. En otras palabras, el nacimiento de la Ingeniería Química no fue más que una puesta en orden de algo que, de alguna manera, ya venía surgiendo por la propia fuerza de los hechos.

Las primeras ingenierías

Parece ser que la primera referencia a la ingeniería se encuentra en Tertuliano (200 AC) quien utilizó la palabra "ingenium" para referirse a cierta máquina bélica, obviamente rudimentaria. Y si se acepta esto como su origen, parecería que la ingeniería militar fue la primera manifestación de este arte y que así siguió durante mucho tiempo, por lo menos hasta que llegó el esclarecedor siglo diecinueve.

Fue en la primera mitad de ese siglo que ocurrieron dos hechos a señalar. El primero fue que un ingeniero británico llamado John Smeaton adoptó el título de "ingeniero civil" para distinguir sus servicios, diferenciándose así de sus colegas militares. El segundo se refiere a que, en 1828, la "Institution of Civil Engineers" de Londres presentó en sus estatutos una definición precisa de la ingeniería civil que de esta manera, consolidó su "status" profesional.

Mientras tanto, ya estaba en plena vigencia el proceso de la Primera Revolución Industrial, surgida por múltiples causas en el siglo anterior y caracterizada por un hecho de singular importancia: la aplicación de la máquina a la industria en una escala formidable. Se suelen citar como referencias la aparición del primer torno para hilar algodón en 1767 y el primer telar mecánico en 1785. Fueron características casi definitorias de esta Primera Revolución

Industrial el perfeccionamiento de la máquina a vapor (Watt, 1769) y la expansión de la industria del hierro (Wilkinson, 1774 y Cort, 1784).

Los historiadores señalan que alrededor de 1860 se produjeron transformaciones suficientemente importantes como para pensar que se había iniciado una Segunda Revolución Industrial. Tres acontecimientos tecnológicos dignos de ser señalados ocurrieron entonces: el proceso Bessemer para producir acero (1856), el perfeccionamiento de la dinamo (1873) y la invención del motor de combustión interna (Otto, 1876). Estas innovaciones tecnológicas fueron acompañadas por otro tipo de transformaciones que definieron la época. De ellas, nos interesa señalar dos muy importantes: la masificación de la producción industrial y el creciente predominio de la ciencia como fundamento de la industria.

Estos acontecimientos también tuvieron sus efectos en otros sentidos. Por ejemplo, el hecho de que en Gran Bretaña se produjo la institucionalización de la ingeniería mecánica que surgió, más que nada, como una consecuencia del desarrollo de la termodinámica. El uso del vapor como el vector energético más importante y la obra de científicos tales como Carnot, Rankine, Helmholtz, Gibbs y otros, fueron esenciales para el afianzamiento de esta profesión. Para aportar una referencia en el tiempo, digamos que fue en 1851 cuando Clausius enunció su concepto de entropía. De una manera bastante parecida, la ingeniería eléctrica alcanzó su identidad profesional casi simultáneamente. Las bases científicas fueron dadas por Faraday, Volta, Ohm, Ampere y otros. En la práctica, el perfeccionamiento y difusión de la dinamo dio impulso y motivación para una rápida expansión de la electricidad y de la ingeniería que tenía que ver con ella.

La industria química

En el marco de ese rápido desarrollo industrial, la industria química no fue una excepción. Algo que resulta bastante lógico si se tienen en cuenta los siguientes factores: a) el desarrollo industrial general originó una gran demanda de materias primas, b) la influencia de la

ciencia sobre la industria se notó fuertemente en aquella actividad industrial que es más dependiente del descubrimiento científico, c) el crecimiento de la población y la creciente necesidad de alimentos fueron un poderoso estímulo para la aparición de nuevas industrias.

La siguiente síntesis cronológica exhibe algunas de las señales que pautaron la evolución de la industria química en esa época:

- 1791 : carbonato de sodio, proceso Leblanc
- 1856 : primer colorante sintético, Perkin
- 1866 : carbonato de sodio, proceso Solvay
- 1891 : extracción de azufre subterráneo, Frasch
- 1891 : primera fibra artificial de nitrocelulosa, Chardonnet
- 1896 : liquefacción del aire en escala industrial, Linde
- 1900 : ácido sulfúrico por el método de contacto
- 1905 : cianamida cálcica
- 1910 : soda y cloro por electrólisis del cloruro de sodio
- 1910 : fibra artificial, rayón viscosa
- 1913 : síntesis del amoníaco a partir de sus elementos, B.A.S.F., Oppau, Alemania

De este modo nació y creció la industria química pesada, fabricante de productos relativamente simples en cantidades nunca imaginadas hasta el momento. Se resolvieron problemas tan importantes como la fijación del nitrógeno atmosférico y se produjeron materias primas abundantes y baratas que contribuyeron al desarrollo de una variada gama de otras actividades industriales.

Los técnicos que dirigían estas plantas eran llamados "químicos industriales". Poseían una formación que combinaba elementos de química y de ingeniería mecánica siendo verdaderos especialistas en su tarea aunque sin la condición generalizadora que les permitiera proyectarse mucho más allá de lo que era su materia específica.

Se llegó así a la Primera Guerra Mundial; los contendientes se vieron forzados a autoabastecerse y esto ejerció una profunda influencia en el desarrollo industrial de la época. Rápidamente se multiplicaron los problemas de cantidad y calidad al mismo tiempo que el factor económico se hizo cada vez más crítico. La necesidad de trabajar, en todo sentido, con una mayor eficiencia generó la necesidad de racionalizar las distintas operaciones de fabricación y con ello creó un campo propicio para el nacimiento de una nueva expresión de la ciencia y la tecnología: la Ingeniería Química.

Arthur D. Little, actor fundamental de este proceso, explicó así su punto de vista: "Con el creciente número y complejidad de los problemas surgidos de la rápida expansión de las industrias químicas, se empezó a

reconocer gradualmente que había necesidad y sitio para una rama distinta dentro de la ingeniería, a la cual estos problemas le fueran asignados. En respuesta a esta necesidad tenemos la Ingeniería Química, no como una mezcla de química con ingeniería mecánica y civil sino como una rama separada de la ingeniería, basada en las operaciones unitarias, las que en su propia secuencia y coordinación constituyen un proceso químico llevado a escala industrial".

Origen de la Ingeniería Química

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 continuó y en 1908 se produjeron dos hechos interesantes que muestran la envergadura que ya empezaba a alcanzar la profesión: 1) la American Chemical Society organizó una división de químicos industriales e ingenieros químicos y autorizó la publicación del "Journal of Industrial and Engineering Chemistry", 2) casi simultáneamente, 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 período 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 integrar ese 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 M.I.T. su concepto de "operación unitaria", el cual en su parte medular decía lo siguiente: "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, disolución y así sucesivamente". 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 si 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, básicamente, 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 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".

Evolución

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 llamó "proceso unitario". Ejemplos clásicos de estos procesos fueron: hidrogenación, nitración, oxidación, halogenación, neutralización, sulfonación, etc.. Los años que habían 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.

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, como dijimos, nuevas herramientas al estudio de los fundamentos de aquellas unidades operativas. Sería fatigoso escribir (y leer) todos los ejemplos que se podrían poner al respecto. Creemos que bastaría mencionar algunos tales como análisis dimensional y escalado, balances de masa y energía, análisis económico, tratamiento del estado no en régimen, equilibrios de fase multicomponentes, equilibrios y cinética química, etc..

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. Este concepto ya conocido para el flujo de electricidad resultaba singularmente generalizable a las operaciones unitarias. 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 R. B. Bird, W. E. Stewart y E. N. Lightfoot. La perspectiva de los años transcurridos y la aceptación lograda por la propuesta, nos 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 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 nos estaríamos alejando del espíritu de síntesis que nos anima. 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.

Desde la época en que estamos situados - los años sesenta - 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 computación gravitó en múltiples aspectos del ejercicio profesional en la medida en que abrió 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 citamos y otros que no mencionaremos 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. A ella nos referiremos a continuación.

La Ingeniería Bioquímica

Pensamos que esta reseña sería incompleta si no hiciéramos una mención, necesariamente breve, a la Ingeniería Bioquímica. Aunque se trata de una tecnología que tiene algunos caracteres propios, creemos que es,

bajo muchos puntos de vista, una rama o una especialización de la Ingeniería Química. En todo caso, se podría decir que se trata de la rama en la cual ha habido la más fuerte diferenciación.

En la tarea de rastrear los orígenes de la expresión "Ingeniería Bioquímica" hemos encontrado una mención, en ese sentido, en un discurso de Sir Harold Hartley dirigido, en Gran Bretaña (1952) a la "Institution of Chemical Engineers". En él se refiere a la Ingeniería Bioquímica como una rama de la Ingeniería Química que se mueve en el marco de los mismos principios, teorías, procedimientos y métodos que son fundamentales y generales, a los que se agregan otros que son propios de su condición de bio-ciencia.

Tal vez cabría preguntarnos si fue en ese momento en que la ancestral microbiología industrial se transformó en ingeniería bioquímica. Nosotros creemos que el verdadero momento de la transformación ocurre en 1965 con la aparición del libro "Biochemical Engineering" de S. Alba, A. E. Humphrey y N. F. Millis. En su prefacio, los autores explican que su mayor objetivo ha sido reunir información sobre la utilización industrial de los microorganismos presentándola bajo un enfoque de Ingeniería Química de la cual han tomado los principios fundamentales, dándole a las operaciones físicas el correspondiente tratamiento de "operaciones unitarias". Un examen exhaustivo del texto muestra que es bastante más que eso en la medida en que es un estudio en profundidad de todos los aspectos de la ingeniería de la reacción microbiológica.

El otro hito fundamental viene dado por la incorporación de las técnicas de biología molecular y de ingeniería genética a la Ingeniería Bioquímica. La fabricación de nuevos productos y la utilización de nuevas técnicas para ello, dieron lugar a la aparición de muchos elementos nuevos en el acervo de la Ingeniería Química. Creemos válido mencionar que los aportes más importantes surgidos de esta demanda fueron los siguientes: a) la capacidad de producir y mantener condiciones asépticas a lo largo de grandes circuitos, b) un replanteo de las pautas para el diseño del reactor biológico, c) la habilidad para responder a nuevas y mayores exigencias en instrumentación, y d) el desarrollo de importantes variantes en las operaciones unitarias de separación y concentración que se usan para recuperar las sustancias deseadas.

Vale la pena profundizar un poco en este último punto y poner algunos ejemplos para mostrar el interesante grado de refinamiento alcanzado en lo que se ha dado en llamar "downstream processing". Las operaciones que mencionamos apuntan a solucionar problemas bastante difíciles, sobre todo la separación de mezclas de proteínas cuyas propiedades físicas son muy similares (purificación) y la concentración de soluciones extremadamente diluidas de sustancias invariablemente termolábiles (recuperación). Dentro de esa variedad de problemas que iban presentándose, estos fueron los que más contribuyeron al

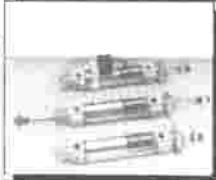
desarrollo de nuevas operaciones unitarias. Así fue que sobre algunas bases pre-existentes en escala de laboratorio, se fueron desarrollando industrialmente las operaciones de extracción diferencial, adsorción por afinidad, ultracentrifugación, electrodiálisis, ultrafiltración, osmosis inversa, electroforesis, precipitación, separación cromatográfica, etc.

Habida cuenta de que cada una de ellas tiene el respaldo de sus correspondientes ecuaciones de dimensionamiento y sus demás parámetros, teóricos y prácticos, razonablemente definidos, cabe apreciar en qué forma se fue ensanchando el campo de la Ingeniería

Química en la resolución de estos nuevos planteos. Lo cual confirma que aunque se parta de un proceso específico, las conclusiones son generales y las técnicas son de aplicación prácticamente ilimitada.

Conclusión

De hecho, ya hemos llegado a la época actual y por lo tanto esta modesta síntesis histórica llega a su fin. Desde este punto en adelante el tema ya tendría que ser otro, la Ingeniería Química del presente y del futuro. Estamos seguros de que no faltarán oportunidades para ulteriores reflexiones al respecto.

<h1>Control de fluidos</h1>  <p>fidemar sa. VALVULAS Y ACCESORIOS PARA LA INDUSTRIA MINAS 1634 - TEL. 42 17 17* (8 líneas) FAX 00598 - 2 - 42 17 19 CASILLAS DE CORREO 12086 - C.P. 11.200 MONTEVIDEO - URUGUAY</p>	<p>REFRIGERACIÓN Y VAPOR, NH3 Y FREÓN Valvulas y presostatos</p>		<p>SUAREZ & CLAVERA Danfoss (Dinamarca)</p>
	<p>AIRE COMPRIMIDO LIMPIO Y SECO SECADORES Y FILTROS</p>		<p>HANKISON (Estados Unidos)</p>
	<p>AUTOMATIZACIÓN NEUMÁTICA Valvulas, solenoides y cilindros</p>		<p>BOSCH (Alemania)</p>
	<p>VAPOR, VALVULAS Y TRAMPAS DE VAPOR</p>		<p>yoshitake WORKS, LTD. (Japón)</p>
	<p>VÁLVULAS MANUALES ESFÉRICA ESCLUSA RETENCIÓN GLOBO</p>		<p>vir (Italia)</p>