

Química e industria, 1500-2000*

Ernst Homburg

(Traducción a cargo de Mar Cuenca Lorente, Universidad de Valencia)

* Este artículo está basado en una conferencia impartida el 11 de julio de 2008 en la II Escuela de Verano de Historia de la Química, Universidad de La Rioja.

Resumen: Según una imagen bastante generalizada, tanto entre historiadores de la economía como de la tecnología, la ciencia y la industria han estado separadas durante la mayor parte de su historia. Sólo desde la llamada "Revolución Científico-Técnica" (Bernal) o "Segunda Revolución Industrial" (Landes) (1870–1914), ciencia, tecnología e industria se entrelazaron estrechamente, dando lugar a la industria basada en la ciencia, la tecnología científica y la tecnociencia. En este trabajo afirmaré prácticamente todo lo contrario. En los siglos XVI al XVIII, casi no había diferencia entre la química y las industrias químicas, y se produjeron numerosas interacciones debido al empleo de aparatos y materiales comunes. El recorrido que hemos realizado muestra que, entre 1500 y 2000, la química y la industria han estado siempre estrechamente relacionadas, si bien la naturaleza de la relación ha cambiado a través del tiempo. Durante los primeros tres siglos tras el nacimiento de la química como disciplina, las prácticas comunes de laboratorio constituyeron el más importante nexo entre química e industria. Posteriormente, las investigaciones de laboratorio adquirieron cierta independencia, aunque las cuestiones planteadas y los materiales usados estuvieron a menudo influenciados por la industria. También hemos podido comprobar que la innovación industrial nunca fue dependiente únicamente de las investigaciones químicas. Siempre fue un proceso mucho más heterogéneo.

Palabras clave: Historia de la química, industria química, química aplicada, Revolución Industrial.

Abstract: According to a widespread view, popular among economic historians and historians of technology alike, science and industry were miles apart during most of their history. Only since the so-called 'Scientific-Technical Revolution' (Bernal), or 'Second Industrial Revolution' (Landes) (1870–1914), science, technology and industry became closely intertwined, leading to science-based industry, scientific technology, and technoscience. In this paper, I will argue that almost the opposite is true. In the 16th to 18th centuries chemistry and the chemical industries were hardly differentiated from each other, and there were numerous connections via the use of common equipment and materials. The story presented shows that between 1500 and 2000 chemistry and industry have always been closely related. But the nature of the relation changed over time. During the first three centuries after the emergence of chemistry as a discipline, the common laboratory practices formed the major link between chemistry and the industry. Later, laboratory investigations played a more independent role, although the questions posed and the materials used were often strongly influenced by the industry. During its entire history industrial innovation never was dependent on chemical insights alone. It was always a far more heterogeneous process.

Keywords: History of chemistry, chemical industry, applied chemistry, Industrial Revolution.

Introducción

Según una imagen bastante generalizada, tanto entre historiadores de la economía como de la tecnología, la ciencia y la industria han estado separadas durante la mayor parte de su historia.

Sólo desde la llamada "Revolución Científico-Técnica" (Bernal) o "Segunda Revolución Industrial" (Landes) (1870–1914), ciencia, tecnología e industria se entrelazaron estrechamente, dando lugar a la industria basada en la ciencia, la tecnología científica y la tecnociencia.

En este trabajo afirmaré prácticamente todo lo contrario. En los siglos XVI al XVIII, casi no había diferencia entre la química y las industrias químicas, y se produjeron numerosas interacciones debido al empleo de aparatos y materiales comunes.

En primer lugar, sin embargo, debemos reflexionar brevemente sobre los cambiantes significados de las expresiones "industria química" y "química". Aproximadamente antes de 1850 no existía la "industria química" como tal, tan sólo algunas actividades particulares como el comercio de los álcalis,

la producción de jabón, la elaboración de pigmentos como el albayalde, etc.. El propio concepto de "industria química" es, en parte, un producto de las estadísticas nacionales del siglo XIX, que decidieron que algunos procesos químicos industriales tales como la cerámica, el vidrio, la fabricación de hierro y otros metales, permanecerían fuera de la industria química, mientras que otros serían incluidos. Por el contrario, la "química" fue una actividad social desde los inicios del siglo XVII. El término surgió en el siglo XVI de la palabra alquimia. En el siglo XVII, la química se convirtió en una disciplina, tal y como indican el nacimiento de los libros de texto de química, el nombramiento de profesores de química en la universidad, y a finales de este siglo, la fundación de una sección de química en importantes instituciones científicas, incluyendo la Academie des Sciences de París.

En mi trabajo, comentaré las conexiones cambiantes en la práctica y en la teoría entre la química y la industria (química), usando la periodización que ofrezco en la siguiente tabla.

Periodo	Naturaleza de la interacción
1500–1800	- Cultura práctica común (equipo, materiales). - Débil interacción cognitiva/teórica.
1770–1830	Química e industria se distancian debido a: - Nuevas técnicas industriales a gran escala - Revolución en las prácticas químicas de laboratorio.
1770–1920	-Influencia de la química en la industria mediante nuevas sofisticaciones teóricas y el descubrimiento de nuevas sustancias.
1920–2000	La ciencia química continua siendo importante para la industria, pero la importancia de la ingeniería química aumenta.



E. Homburg

Department of History, Faculty of Arts and Culture,
University of Maastricht

P.O. Box 616, 6200 MD Maastricht, Netherlands

C-e: e.homburg@history.unimaas.nl

Recibido: 12/09/2008. Aceptado: 04/11/2008.

Conexiones prácticas entre química e industria (1500–1800)

En los siglos XVI a XVIII, la química era en principio un "arte del fuego", por ejemplo, el arte o la habilidad en el manejo y manipulación del fuego (cf. Biringuccio, *Pyrotechnia*, 1540). El equipo esencial era el horno. Cada oficio relacionado con la química disponía de sus hornos específicos: había hornos específicos para fundir los metales de sus minerales; hornos de copelación para el ensayo del oro; hornos de reverbero para producir el "aceite de vitriolo" y el "aqua fortis" (productos que corresponden aproximadamente a nuestros ácido sulfúrico y nítrico, respectivamente); el horno denominado "Faule Heintz" (Slow Harry) para fabricar ácido nítrico también; baños de agua para la destilación de extractos de plantas; hornos de galera (galley furnaces) para obtener ácidos fuertes; instalaciones para la destilación de mercurio "per descensum"; alambiques refractarios para la destilación de alcohol; etc. Junto a estos hornos, se encontraban varios recipientes con fines especiales, como el crisol, la retorta (cucúrbita), el capitel del alambique, y el recipiente receptor.

Por lo general se podría decir que cada uno de los oficios relacionados con la química tenía sus propios equipos específicos, sus tradiciones, su jerga particular, y sus "teorías". Ejemplos de estas ramificaciones específicas son:

- Los trabajos del salitre.
- La producción de alumbre
- La obtención de albayalde

Pero también hubo unas pocas agrupaciones de este tipo de actividades. Por ejemplo, los trabajos metalúrgicos estaban a menudo relacionados con la producción de ácidos fuertes, necesarios para el refinamiento de plata y oro. Y el equipamiento de uso general para la destilación se usaba tanto para la obtención de numerosos extractos de plantas diferentes como de preparaciones alcohólicas.

Los alquimistas y, posteriormente, los químicos realizaron trabajos de laboratorio en los cuales se usaban muchos tipos de hornos diferentes. En este sentido, los diferentes oficios artesanales estaban más o menos relacionados a un nivel práctico mediante el laboratorio químico. La alquimia tuvo sus raíces en la tradición metalúrgica. En las ilustraciones más antiguas de laboratorios químicos tan sólo podemos ver hornos metalúrgicos generales para el calentamiento de crisoles (Figura 1). Tras emerger el arte de la destilación en la Edad Media, y su posterior popularización en el Renacimiento, el equipo para la destilación también entró a formar parte de los laboratorios de los alquimistas.

El comienzo de la institucionalización de la química tuvo lugar al principio del siglo XVII. En esos años "química" (*chymia* o *chymica*) significaba principalmente la preparación de "medicinas químicas". Surgió de la destilación destinada a fines médicos (Llul; Villanova; Brunschwygk), en combinación con el uso de metales (antimonio, mercurio, etc) y sales con fines terapéuticos defendidos por Paracelso. En las ilustraciones más antiguas de laboratorios químicos universitarios del siglo XVII, (1638–1680), se puede observar la presencia de hornos de todos los tipos, por lo que se puede concluir que los estudiantes aprendían una gran variedad de operaciones químicas diferentes (Figura 2). Hasta finales del siglo XVIII, las prácticas de la química universitaria/científica



Figura 1. Muchos de los alquimistas del siglo XV trabajaron con hornos metalúrgicos. Alquimistas posteriores añadieron otro tipo de hornos a sus laboratorios. Observen la presencia de una balanza en esta ilustración de *Das Narrenschyp* (1497) (de Alberto Durero). Las balanzas de Lavoisier formaban parte de los aparatos comunes de los laboratorios desde mucho antes. Fuente: A.A.A.M. Brinkman, *De alchemist in de prentkunst*, Rodopi, Amsterdam, 1982, p. 7.



Figura 2. En los primeros laboratorios químicos universitarios los estudiantes de medicina fueron probablemente instruidos en la preparación de sus propias "medicinas chymicas". Los numerosos hornos y retortas en este dibujo de Philipp Georg Dietrich de Leipzig (1638) (el cual probablemente muestra el laboratorio universitario en Leipzig) hacen posible esta práctica. Cortesía: Germanisches National Museum, Nürnberg, Sign. HB 13053a.

ca eran muy parecidas a las prácticas de los artesanos que desarrollaban actividades relacionadas con la química. Hubo fuertes relaciones prácticas entre los diferentes oficios químicos y la disciplina de química, pero no un intenso intercambio teórico. Cada oficio tenía sus propios conceptos y "teorías". Son pocas las influencias de los laboratorios químicos en el desarrollo de la práctica artesanal, pero se darán algunos ejemplos más tarde.

Distanciamiento (1770–1830)

Alrededor de 1800, la química y la industria comenzaron a distanciarse paulatinamente, en la medida en que su práctica común sufrió varias transformaciones decisivas

- Por una parte, algunas de las industrias "químicas" comenzaron a producir a gran escala, usando técnicas muy diferentes de las anteriores técnicas de "laboratorio".
- Por otra parte, tuvo lugar una revolución en el laboratorio químico "científico".

Hasta finales del siglo XVIII, la mayor parte de los artesanos químicos operaban a escala de laboratorio, con la ex-

cepción de algunos oficios metalúrgicos, algunos trabajos con alumbre y cobre, y, por ejemplo, las minas de mercurio en Almadén. A partir de 1780, bajo la influencia de la revolución industrial, se produjo un crecimiento espectacular en varias fábricas químicas, lo que provocó que los procesos industriales comenzaran a divergir considerablemente de las prácticas de los laboratorios de enseñanza.

Un caso espectacular en concreto es la producción de ácidos fuertes, tales como el ácido nítrico y el aceite de vitriolo o ácido sulfúrico.

- El **aqua fortis** (ácido nítrico) se producía a partir de salitre y de vitriolo verde (Holanda) o de salitre y arcilla (Francia) dentro de retortas calentadas en hornos de reverbero

- El **aceite de vitriolo** se producía en retortas calentadas en hornos semejantes

- El **ácido sulfúrico** se producía a partir de azufre mediante el llamado "método de campana" (Figura 3). A finales del siglo XVI, diversos autores coincidieron en que el aceite de vitriolo y el ácido sulfúrico podían ser considerados como el mismo producto en esencia.



Figura 3. En el llamado "método de campana" para la fabricación de ácido sulfúrico, el azufre se quema bajo una campana, en presencia de pequeñas cantidades de salitre. Los gases de SO_3 se recogían en el recipiente receptor de la derecha, llenado con agua. Fuente: *The Art of Distillation, or a Treatise of the Choicest Spagyricall Preparations performed by the way of distillation*, London, 1651.

El equipo para la producción de los ácidos era de escala de laboratorio, y no diferente de los hornos presentes en un laboratorio de universidad. Cuando se necesitaba más producto, simplemente se instalaban más hornos en la misma habitación, o reunidos en las llamadas galeras.

La innovación crucial fue el perfeccionamiento del método de campana por el curandero Joshua Ward (1685–1781), quien alrededor de 1740 comenzó a usar grandes globos de vidrio en lugar de las campanas (Figura 4). También añadió una pequeña cantidad de salitre, que como se concluyó posteriormente, actuaba como catalizador. Su método lo copiaron John Roebuck y Samuel Garbett, quienes alrededor de 1756 tuvieron la idea de reemplazar los frágiles recipientes de cristal por pequeñas cámaras de plomo. La capacidad de las cámaras de plomo era, inicialmente, muy parecida a los hornos habituales para producir ácido nítrico o aceite de vitriolo, por ejemplo, sobre 1,2–1,5 toneladas por horno y año. Pero mientras que los mayores trabajos de ácido nítrico tenían de 6 a 10 hornos por taller (Tabla 1), a partir de 1770 algunas fábricas de ácido sulfúrico disponían de 200 a 400 cámaras de cristal o cámaras de plomo, por lo que algunas de ellas producían entre 250 y 500 toneladas.



Figura 4. Alrededor de 1740 el curandero inglés Joshua Ward (1685–1761) mejoró notablemente la fabricación de ácido sulfúrico reemplazando la campana por grandes globos de vidrio, los cuales reducían enormemente las pérdidas de gases de SO_2 y SO_3 . No mucho después los frágiles recipientes de cristal fueron reemplazados por cámaras de plomo. Fuente: C. Singer, *The Earliest Chemical Industry*, The Folio Society, London, 1948, p. 274.

Alrededor de 1780 la escala de las cámaras de plomo cambió enormemente. En 1835, una fábrica de ácido sulfúrico en Holanda, probablemente de tamaño medio, producía 400 toneladas por año con tan sólo una cámara de plomo. En 1855, la producción creció a 1.000 toneladas anuales por cámara de plomo, y, tras la introducción de piritas (en lugar de azufre) como materia prima, alcanzó las 4.000 toneladas en 1870.

Después de la mejora introducida por la compañía Lurgi en los hornos de pirita a comienzos del siglo XX (Figura 5), la capacidad habitual por cámara de plomo aumentó a 15.000 toneladas anuales. La mayor parte de las fábricas de ácido sulfúrico tenían aproximadamente entre 2–4 cámaras de plomo, por lo que una capacidad de 45.000 toneladas por año era bastante normal. En 1930, la fábrica más grande del mundo mediante cámaras de plomo fue construida en los Países Bajos por Montecatini. Constaba de 16 cámaras de plomo y podía producir 240.000 toneladas por año.



Figura 5. Durante el siglo XX los ingenieros contratistas tuvieron un papel cada vez mayor en la industria química. La compañía alemana Lurgi era líder en el mercado de plantas de ácido sulfúrico como resultado de las grandes mejoras realizadas en hornos de piritas (los llamados hornos Herreshoff). Fuente: *Arbeits-Gebiet der Lurgi Gesellschaft für Chemie und Hüttenwesen mbH [Öfen, Schwefelsäure-Anlagen, Phosphorsäureanlagen]*, Lurgi Chemie, Frankfurt am Main, 1930.

Mientras tanto, desde la década de 1890, Clemens Winkler (Freiberg) y Rudolph Knietsch (BASF) inventaron un nuevo proceso catalítico para la fabricación de ácido sulfúrico: el lla-

mado proceso de contacto. En 1947, una planta de ácido sulfúrico de contacto tenía capacidad para 33.000 toneladas por año. En 1970, había aumentado hasta 300.000 toneladas, es decir, más de 200.000 veces la capacidad de las unidades de producción del siglo XVIII. La tabla 1 muestra que ya desde el final del siglo XVIII las prácticas de producción de ácido sulfúrico en el laboratorio y en la industria se habían distanciado considerablemente.

Tabla 1. Capacidades anuales en toneladas (=1.000 kg) de producción de ácidos fuertes.

Año	Ácido nítrico Por horno	Ácido nítrico Por fábrica	Ácido sulfúrico (1770–1930) / proceso de contacto (1947–1970)	Ácido sulfúrico Por fábrica
1760	1,5	9		
1770	1,5	15	1,25	75
1780			1,25	250–500
1835			400	400
1855			1.000	1.000
1870			4.000	4.000
1910			12.000	
1930			15.000	45.000–240.000
1947			33.000	
1957			100.000	
1970			300.000	

Como resultado de las innovaciones en la fabricación de ácido sulfúrico se produjeron grandes caídas del precio. Alrededor de 1740 el proceso de campana no podía competir con los costes de producción del aceite de vitriolo, ya que estos eran como mínimo dos veces mayores. Tras la innovación de Ward, los costes de ácido sulfúrico cayeron por debajo de los del aceite de vitriolo. Cincuenta años después, los costes se redujeron otra vez por un factor de diez.

Tabla 2. Costes de producción de aceite de vitriolo y ácido sulfúrico en florines holandeses por kilogramo (Dfl/kg).

Año	Aceite de vitriolo	Ácido sulfúrico por el método de campana/ Proceso por cámara de plomo
1740	7,5–11	21
1760	2,5	1,3–1,7
1810		0,15–0,2
1830		0,1

En cualquier caso, no se debe olvidar que en algunos sectores de la industria química ligera, los procesos industriales discontinuos continuaron siendo parecidos a los procesos de laboratorio hasta el comienzo del siglo XX.

De forma paralela a este crecimiento de la industria, el proceso contrario de miniaturización (Figura 6) tuvo lugar en el laboratorio químico (científico). Pasos importantes fueron la introducción del soplete (blow-pipe) por químicos sucos tales como Cronstedt y Bergman, la introducción de los nuevos reactivos por Bergman, el perfeccionamiento de métodos volumétricos por Descroizilles, y el crecimiento en el uso de tubos de ensayo y pequeñas fuentes de calor como el

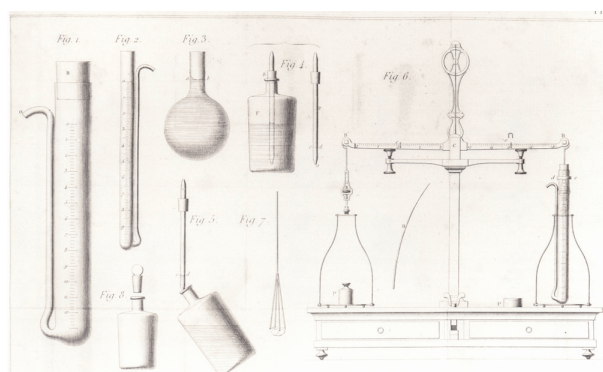


Figura 6. El crecimiento de la química analítica, incluyendo la introducción de la volumetría (buretas, pipetas, etc.), tuvo un papel importante en la "revolución de miniaturización" dentro del laboratorio químico académico. Fuente: J.-L. Gay-Lussac, *Instruction sur l'essai des matières d'argent par la voie humide*, Paris, 1832, planche 1.

mechero Argand, y, posteriormente, el mechero de gas Bunsen. Todo ello culminó, en primer lugar, en el uso de los llamados "laboratorios portátiles" (Figura 7), usados por mineralogistas en este campo, y posteriormente, por docentes químicos y sus estudiantes (quienes podían repetir esos experimentos en casa). Otro desarrollo importante fue el uso de nuevas técnicas físicas, tales como el uso de la electricidad, o el equipo para el estudio de gases llevado a cabo por químicos tales como Priestley, Lavoisier, Van Marum y Minckelers. Además estas técnicas eran relativamente a pequeña escala, y totalmente diferentes de las tecnologías de hornos usadas por la industria.

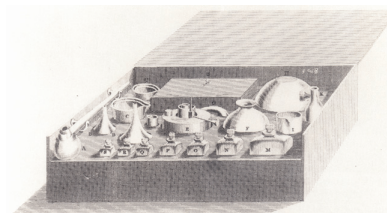


Figura 7. El primer paso en la reducción de los laboratorios químicos universitarios tuvo lugar con la introducción de los llamados "laboratorios portátiles" a finales del siglo XVIII, primero en mineralogía y, posteriormente, en la enseñanza de la química. La imagen muestra un laboratorio portátil de finales del siglo XVIII propiedad del químico francés Guyton de Morveau. Fuente: W. A. Smeaton, 'The portable chemical laboratories of Guyton de Morveau, Cronstedt and Götting,' *Ambix* 1965–66, 13, 84–91.

Por otra parte, la química analítica emergió como un nuevo campo cuando, alrededor de entre 1810 y 1830, las universidades comenzaron a dar formación práctica en esta nueva rama de la química. Estas técnicas experimentales de bajo coste revolucionaron la enseñanza química de laboratorio en las universidades. Mientras que tan sólo a unos pocos estudiantes se les había permitido entrar ocasionalmente al laboratorio del profesor antes de 1810, tras 1849 había numerosos laboratorios en Alemania, Inglaterra y Francia donde se podía adquirir una formación práctica de laboratorio (Figura 8). En la universidad de Giessen, donde enseñó Justus Liebig, el viejo laboratorio estaba en 1835 todavía repleto de hornos. El nuevo laboratorio de 1842 tenía un aspecto completamente diferente.

La consecuencia importante de esta revolución en el laboratorio químico universitario fue que los estudiantes aprendieron habilidades totalmente diferentes a las que eran comunes en la producción industrial. Mientras que en los si-

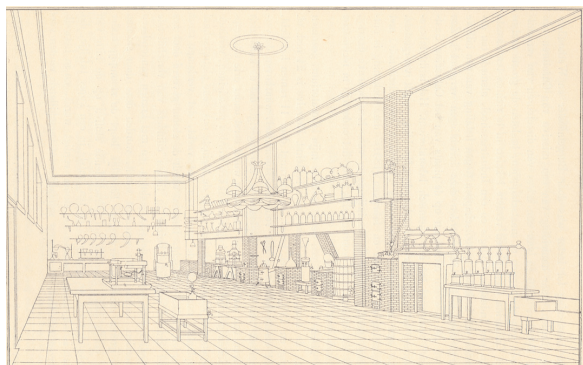


Figura 8. Alrededor de 1830 los laboratorios químicos universitarios se encontraban en un periodo de transición. Este dibujo del nuevo laboratorio químico de la Universidad de Leiden (1831) muestra mesas de laboratorio para experimentos a pequeña escala, pero también varios hornos químicos tradicionales. Fuente: W. P. Jorissen, *Het Chemisch (thans Anorganisch Chemisch) Laboratorium der universiteit te Leiden van 1859–1909 en de chemische laboratoria dier universiteit vóór dat tijdstip in hen, die er in doceerden*, A. W. Sijthoff, Leiden, 1909, p. 62.

glos XVII y XVIII un estudiante podía aprender en el laboratorio las mismas operaciones que las empleadas en la industria, tras 1830 esto no fue posible por más tiempo. En algunas universidades politecnicas alemanas, se construyeron laboratorios a gran escala con plantas piloto que eran parecidas, por ejemplo, a las fábricas de azúcar, o las instalaciones de producción de ácidos. Pero este intento de llenar el vacío entre universidad e industria duró poco tiempo. Surgieron nuevos roles para los químicos industriales, como el químico analítico y, posteriormente, el químico investigador.

1770–1920: Conexiones teóricas entre química e industria

Durante el periodo comprendido entre 1500–1800, la influencia de las investigaciones químicas y de las teorías en las prácticas industriales fue bastante modesta. La tabla de afinidades de 1718 de Etienne Geoffroy representaba la culminación en química del siglo XVII y comienzos del XVIII. Resumía de forma maravillosa la posibilidad y la facilidad con que se desarrollaban las reacciones químicas entre los ácidos más comunes, los álcalis, las sales, los metales, y no metales como el azufre. De este modo, creó vínculos cruzados entre las diferentes ramas de la química industrial, aunque, en realidad, para el artesano individual en una rama específica, la tabla contenía poca información que todavía no conocía.

A pesar de la poca importancia, en general, de la química "científica" para la industria, no se debe concluir que era absolutamente irrelevante. Multhaupt y Holmes han mostrado todos los altibajos en la investigación científica y la clasificación de sales minerales y, especialmente, álcalis. Prácticamente la totalidad del siglo XVIII había transcurrido antes de que las relaciones y las diferencias entre el álcali mineral (sosa), el álcali vegetal (potasa), y el álcali volátil (amoníaco) fueran entendidas y establecidas. Pero tan pronto como esto se consiguió, Nicolas Leblanc pudo desarrollar su proceso para la preparación de sosa a partir de la sal común. Sin las investigaciones científicas previas, este nuevo método para la preparación de sosa difícilmente hubiera sido posible.

No menos espectacular fue el impacto del nuevo conocimiento químico en la industria del albayalde o blanco

de plomo [$\text{Pb}_2(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$]. Durante siglos, artesanos y químicos (Stahl, por ejemplo), habían considerado al albayalde como una "cal del plomo", que podía ser producida a partir de plomo mediante la acción de los ácidos, tales como el vinagre concentrado. Tras el descubrimiento del "aire fijo" (nuestro actual dióxido de carbono) por Joseph Black en 1756, Torbern Bergman descubrió en 1774 que el albayalde contenía este "aire ácido". Posteriormente, Klaproth confirmó que el albayalde era una combinación de 84% de óxido de plomo y 16% de dióxido de carbono. Este enfoque revolucionó completamente a la industria. Ahora se entendía por qué en el proceso de producción del albayalde la fermentación del estiércol de caballo era tan esencial: no sólo suministraba el calor necesario, sino también el "aire fijo" que entraba en la composición. Una mejora en el suministro de dióxido de carbono podía, por lo tanto, mejorar el proceso. Otras nuevas perspectivas también abrieron caminos hacia formas completamente nuevas de sintetizar el albayalde. Se realizaron varios intentos a escala industrial, pero finalmente el proceso clásico parece que producía albayalde de mejor calidad.

A pesar del importante aumento en la producción de ácido sulfúrico, que ha sido discutido anteriormente, durante largo tiempo estos avances tuvieron lugar de modo independiente del desarrollo del laboratorio químico, aunque hubo unos pocos casos en los que las investigaciones químicas tuvieron impacto en la industria. Uno de ellos fue el estudio del papel del salitre en la fabricación de ácido sulfúrico llevada a cabo por los químicos franceses Nicolas Clément y Charles-Bernard Desormes en 1806. Descubrieron que el salitre no era la fuente de oxígeno necesaria para la oxidación de los óxidos de azufre ($\text{SO}_2\text{-SO}_3$), como se creía hasta entonces, sino que actuaba como una especie de catalizador, tal y como fue llamado posteriormente. Este enfoque tuvo importantes aplicaciones prácticas: Clément y Desormes mostraron que pequeñas cantidades de salitre eran suficientes para el proceso. Esto no sólo reducía el coste, sino que también producía un producto más puro. Otra consecuencia importante de estas investigaciones fue apuntar que el suministro de aire a las cámaras de plomo debía ser mejorado. Como resultado, podía surgir una nueva generación de cámaras de plomo más grandes, siempre que se garantizara un buen suministro de aire. A menudo, los estudios científicos y los de la ingeniería iban de la mano. Sería subestimar todos los problemas prácticos que debían ser resueltos, el afirmar que fueron Clément y Desormes quienes revolucionaron la industria.

Los ejemplos de la sosa, el albayalde y el ácido sulfúrico muestran bien claro que la relación entre la química y la industria estaba cambiando. La unión de la química con los oficios no se producía ya a través del dominio de operaciones prácticas similares, sino gracias al descubrimiento de nuevos gases, como el dióxido de carbono y oxígeno –¡por razones absolutamente independientes de las prácticas industriales!–, lo cual parecía tener implicaciones importantes para el entendimiento de las prácticas artesanales como las que hemos comentado.

Todos los ejemplos analizados hasta el momento están relacionados con la química mineral. Fue sólo en el transcurso del siglo XIX cuando mejoró la comprensión de la química vegetal y animal (química orgánica). Pero cuando esto ocurrió, tuvo en ocasiones consecuencias importantes para la industria. Uno de los ejemplos más llamativos es el trabajo de Michel Chevreul (1786–1889) sobre aceites y grasas. Tras un

minucioso estudio de las grasas, el jabón y la saponificación de grasas a jabones, Chevreul publicó su importante obra *Recherches chimiques sur les corps gras d'origine animale (Investigaciones químicas sobre los cuerpos grasos de origen animal)* en 1823. En unos pocos años, estas investigaciones parecieron tener importantes consecuencias para la producción de velas, aunque Chevreul no había hecho este trabajo con la intención de estas aplicaciones industriales. Durante muchas décadas hubo numerosas quejas debido a la mala calidad de las velas fabricadas con sebo. Los fabricantes de velas habían hecho numerosas investigaciones para mejorar la calidad, por ejemplo, mediante la adición de ciertas sales minerales. Ahora, el químico Henri Braconnot mostró, basándose en el trabajo de Chevreul, que no se debían añadir sustancias al sebo, sino, por el contrario, quitar la oleína más volátil del sebo, de modo que la estearina más dura permanecería, y se podría evitar el molesto goteo. En 1825, Chevreul y Gay Lussac consiguieron la patente de un proceso de producción mejorado. Tan sólo después de 1831, y tras muchas innovaciones, los parisinos De Milly y Motard consiguieron hacer de la fabricación de velas esteáricas un éxito comercial: usaron cal en lugar de la sosa, más cara, introdujeron el uso del calentamiento mediante vapor, mejoraron los filtros de prensa y la mecha y comercializaron las velas como velas de cera, en lugar de velas de sebo mejoradas. De nuevo podemos concluir que los descubrimientos científicos fueron importantes, pero nunca idénticos a las innovaciones industriales. Siempre se debía hacer un gran esfuerzo técnico y desarrollo comercial antes de que una idea se convirtiera en un producto comercializable.

En la segunda mitad del siglo XIX, las relaciones entre la química universitaria y la industria se aproximaron tras el nacimiento de la industria de tintes sintéticos (desde 1856 en adelante) y de la industria farmacéutica de síntesis (desde alrededor de 1880). Estas industrias forman el principal ejemplo de la llamada "Segunda Revolución Industrial". Es más, la fundación de laboratorios de investigación en estas industrias, que tuvo lugar en Alemania entre 1875 y 1890, supuso una nueva fase en las relaciones entre la ciencia química y la industria. Pero no se debería olvidar que este desarrollo tuvo lugar en un contexto de relaciones ya existentes entre la química académica y la industria, que han sido resumidos anteriormente.

Alrededor de 1900, cinco de estas empresas alemanas de colorantes se habían convertido en grandes corporaciones, con una plantilla de entre 1.800 a 6.500 trabajadores, y cientos de químicos, quienes dominaron la industria química del siglo XX, especialmente tras su fusión en la IG Farben en 1926. Bayer y Hoechst desarrollaron fuertes ramas farmacéuticas, junto con sus secciones dedicadas a los tintes. Agfa se fortaleció en la línea de productos para la fotografía. BASF también avanzó hacia los productos químicos pesados, y, por ejemplo, desarrolló el proceso de contacto para el ácido sulfúrico, tal y como ya se ha mencionado. Uno de los logros industriales más paradigmáticos fue el desarrollo del proceso Haber-Bosch para la producción de amoníaco sintético a partir de hidrógeno y nitrógeno procedente del aire. De nuevo aquí, fueron fundamentales las investigaciones termodinámicas y catalíticas del químico-físico Fritz Haber, trabajando en la universidad de Karlsruhe, que demostraron la posibilidad de una ruta sintética a escala de laboratorio. Pero, de nuevo, esto fue sólo una pequeña parte de la historia. La síntesis tenía

lugar a temperaturas y presiones elevadas y le costó cuatro años, de 1909 a 1913, a Carl Bosch y su equipo de ingenieros en BASF el desarrollo de un reactor a gran escala, con una doble pared de acero que pudiera resistir estas condiciones. Al mismo tiempo su colaborador Alwin Mittasch y su equipo probaron cientos de sustancias, antes de descubrir el adecuado catalizador de óxido de hierro, todo ello con el objetivo de que fueran suficientemente robustas y efectivas para ser empleadas a escala industrial. Durante la Primera Guerra Mundial el nuevo proceso del amoníaco tuvo una importancia crucial para la producción de explosivos destinados al ejército alemán. Tras la guerra, constituyó la base de una extensa industria de fertilizantes de nitrógeno. En 1918 se le concedió el Premio Nobel a Fritz Haber por "la síntesis del amoníaco a partir de sus elementos", y en 1931, Carl Bosch junto a Friedrich Bergius, recibieron el Premio Nobel por sus "contribuciones a la invención y desarrollo de métodos químicos a alta presión".

1770–1920: Conexiones materiales entre industria y química.

Todos los ejemplos dados hasta el momento (en el apartado anterior) ponen de relieve las consecuencias de las investigaciones químicas en el laboratorio para las actividades de la industria química. Pero no se debería pasar por alto que, además hubo otra influencia más sutil en sentido inverso, es decir, desde el mundo de la industria hacia el desarrollo de la ciencia química. De todas las influencias de la industria en la ciencia, me limitaré a desarrollar una de ellas, a saber, la cambiante disponibilidad de ciertas (nuevas) sustancias y materiales.

En el capítulo dedicado a los "Productos químicos pesados" de su libro *The Origins of Chemistry* (1966), Robert Multhauf ya subraya:

"The heavy chemicals, however, are among the materials on which they (i.e. Stahl and Macquer) are most fully informed and in which they are most interested. It appears to be true in their name as it was in antiquity that the substances of commercial importance are also those with which the natural philosopher is most concerned..." (p. 324).

Las cambiantes prácticas industriales abrieron la puerta a nuevos grupos de sustancias, a menudo, anteriormente desconocidas en la naturaleza, que constituyeron un nuevo campo de investigación para los químicos. Un caso en concreto es la industria del gas ciudad desarrollada en Europa a partir de la década de 1810. Uno de los productos secundarios del gas ciudad era el alquitrán de hulla, una sustancia negra olorosa para la que inicialmente no se encontró uso. Los crecientes problemas medioambientales permitieron desarrollos tecnológicos, tales como la destilación del alquitrán de hulla, con la intención de encontrar posibles aplicaciones para las diferentes fracciones obtenidas. Además, permitió la realización de investigaciones químicas, comenzando con las que efectuó Faraday en 1825, y, más tarde, especialmente A. W. Hofmann en Londres desde 1845. A partir de estas investigaciones parecía deducirse que había una completamente nueva clase de sustancias en el alquitrán de hulla, que fueron llamadas sustancias aromáticas, las cuales eran totalmente diferentes a las sustancias orgánicas encontradas en plantas y animales hasta el momento. Entre 1850 y 1870 docenas de químicos británicos, franceses, alemanes y rusos emprendieron la investigación de estos nuevos materiales, que no se

podían clasificar de acuerdo con las teorías existentes. Fue en este contexto en el que August Kekulé desarrolló la teoría del benceno en 1865.

Así como la totalidad del área de química aromática derivó de actividades industriales (producción de gas; destilación de alquitrán de hulla), lo mismo ocurrió tras el desarrollo de la industria del petróleo al comienzo del siglo XX. De nuevo aquí, se encontraron nuevas clases de sustancias bastante desconocidas hasta entonces, tales como alcanos, naftenos, etc.

El tercer ejemplo que será presentado es el desarrollo de la electrolisis industrial de la sal común desde la década de 1880 en adelante. El primer objetivo de esta rama de la industria era la producción del hidróxido de sodio, pero se produjo inevitablemente cloro como subproducto. El cloro no era una novedad –ya se conocía desde los tiempos de Carl W. Scheele (ca. 1780)– pero cuando creció la producción por medios electrolíticos de hidróxido de sodio en las primeras décadas del siglo XX, el problema "qué hacer con el cloro" aumentó en importancia. Dentro y fuera de la industria varios químicos investigaron la elaboración de productos orgánicos clorados en el laboratorio, y posteriormente en plantas piloto. Con el nacimiento de esta nueva rama de la química orgánica del cloro se encontraron aplicaciones industriales para cientos de sustancias diferentes del cloro. Algunos ejemplos son los disolventes orgánicos y quitagrasas como el CCl_4 , plásticos como el PVC, insecticidas como el DDT, etc.

Los ejemplos muestran que mediante estas influencias materiales y a través de diversos incentivos, el desarrollo de la química estuvo fuertemente influenciado por la industria. La química es considerada una parte de las "ciencias naturales", pero a menudo la "naturaleza" estudiada por la química es una "naturaleza muy artificial".

1920–2000: El papel de la ingeniería química

A lo largo del siglo XX las influencias bidireccionales entre la química y la industria continuaron como antaño. No sería difícil añadir más ejemplos de investigaciones de laboratorio que se convirtieron en nuevos procesos industriales; tampoco sería complicado encontrar nuevas "naturalezas artificiales" desarrolladas por la industria que provocaron la aparición de un nuevo campo en la ciencia (por ejemplo las técnicas asociadas con el silicio y el láser desarrolladas por las industrias electrónicas). A pesar de esto, en mi última sección quiero poner de manifiesto un desarrollo, que desde mi punto de vista, hizo que la industria química del siglo XX se diferenciara de la del siglo XIX, a saber, el desarrollo de la ingeniería industrial y el papel creciente de los ingenieros contratistas.

La disciplina de la ingeniería química se desarrolló en Estados Unidos y Gran Bretaña durante las dos primeras décadas del siglo XX. Una de las herramientas intelectuales más importantes de la nueva disciplina fue el concepto de "operaciones básicas" (*unit operations*), que supuso el reconocimiento de que hay varias operaciones físicas básicas, como la destilación, la filtración, la cristalización, el intercambio de calor, etc., que tienen un amplio papel en diferentes industrias químicas. Hasta finales del siglo XIX muchas de las ramas de la industria química tuvieron sus propias técnicas específicas (como entre 1500 y 1800). Fueron comentadas en diferentes capítulos de libros de texto de tecnología química, y usaban un equipo especial diseñado por las propias industrias.

Ahora las diferentes técnicas químicas comenzaron a unirse

con un marco intelectual común. La ingeniería química comenzó a jugar un importante papel dentro de la industria (americana) del petróleo. Posteriormente, tuvo un papel creciente dentro de las industrias químicas, primero en EE UU e Inglaterra, y, tras la Segunda Guerra Mundial, también en la Europa continental. La ingeniería química tuvo un papel importante en el crecimiento de la industria química, como puede ser demostrado por los ejemplos de fabricación del ácido nítrico (ahora mediante el proceso Ostwald, esto es, a través de la oxidación catalítica del amoníaco sobre platino) y la producción de amoníaco sintético. El desarrollo de estos procesos a gran escala alcanzó la cima en las décadas de los años 1960 y 1970.

Cada vez más, el desarrollo de nuevos procesos tuvo lugar fuera de la propia industria química y fue llevado a cabo por empresas comerciales de ingeniería, quienes además construyeron nuevas instalaciones: Nos referimos a corporaciones de ingenieros contratistas como Lurgi, Linde, Badger, Stone & Webster, etc. Como resultado de este proceso, la industria química de los años 1970 fue muy diferente a la de principios del siglo XX. Se usaron los mismos procesos por muchas compañías diferentes de todo el mundo.

En las últimas décadas hay, de nuevo, una tendencia en la disminución de tamaño, basado en un entendimiento más completo de los procesos a nivel molecular, y dependientes de un proceso de automatización muy avanzado así como de la capacidad para manipular los procesos de forma detallada.

Conclusión

El recorrido que hemos realizado muestra que, entre 1500 y 2000, la química y la industria han estado siempre estrechamente relacionadas, si bien la naturaleza de la relación ha cambiado a través del tiempo. Durante los primeros tres siglos, tras el nacimiento de la química como disciplina, las prácticas comunes de laboratorio constituyeron el más importante nexo entre química e industria.

Posteriormente, las investigaciones de laboratorio adquirieron cierta independencia, aunque las cuestiones planteadas y los materiales usados estuvieron a menudo influenciados por la industria. También hemos podido comprobar que la innovación industrial nunca fue dependiente únicamente de las investigaciones químicas. Siempre fue un proceso mucho más heterogéneo, como se ha mostrado, por ejemplo, con el desarrollo de la ingeniería química en el siglo XX.

Bibliografía

Obras generales

- [1] F. Aftalion, *Histoire de la chimie*, Masson, Paris, 1988.
- [2] F. Aftalion, *A History of the International Chemical Industry: From the 'Early Days' to 2000*, 2nd edition, Chemical Heritage Foundation, Philadelphia, 2001.
- [3] B. Bensaude-Vincent, I. Stengers, *Histoire de la chimie*, La Découverte, Paris, 1993.
- [4] J. D. Bernal, *Science in History*, Watts, London, 1954.
- [5] W. H. Brock, *The Fontana History of Chemistry*, Fontana Press, London, 1992.
- [6] W. Haynes, *American Chemical industry: A History*, 6 vols. Van Nostrand, New York, 1945–1954.
- [7] A. J. Ihde, *The Development of Modern Chemistry*, Harper

& Row, New York, 1964.

- [8] O. Krätz, 'Zur Geschichte des chemischen Laboratoriums,' en: E. H. W. Giebeler, K. A. Rosenbauer (eds.), *Historia scientiae naturalis: Beiträge zur Geschichte der Laboratoriumstechnik und deren Randgebiete*, Ernst Giebeler, Darmstadt, 1982, pp. 1–24.
- [9] D. S. Landes, *The Unbound Prometheus: Technological change and industrial development in Western Europe from 1750 to the present*, Cambridge University Press, Cambridge, 1969.
- [10] C. A. Russell (ed.), *Chemistry, Society and Environment: A New History of the British Chemical Industry*, Royal Society of Chemistry, Cambridge, 2000.
- [11] F. S. Taylor, *A History of Industrial Chemistry*, Heinemann, London, 1957.

Siglos XVI al XVIII

- [1] A. Clow, N. L. Clow, *The Chemical Revolution: A Contribution to Social Technology*, Batchwoth Press, London, 1952. (reprinted 1992).
- [2] G. Fester, *Die Entwicklung der chemischen Technik, bis zu den Anfängen der Grossindustrie: Ein technologisch-historischer Versuch*, Springer, 1923. (reprinted 1969).
- [3] R. J. Forbes, *A Short History of the Art of Distillation, from the beginnings up to the death of Cellier Blumenthal*, Brill, Leiden, 1948. (reprinted 1970).
- [4] C. R. Hill, 'The iconography of the laboratory', *Ambix* 1975, 22, 102–110.
- [5] F. L. Holmes, *Eighteenth-century chemistry as an investigative enterprise*, Office for History of Science and Technology, Berkeley, CA, 1989.
- [6] E. Homburg, 'From colour maker to chemist: Episodes from the rise of the colourist, 1670–1800'. En: R. Fox, A. Nieto-Galan (eds.), *Natural Dyestuffs and Industrial Culture in Europe, 1750–1880*, Watson Publ. Int., Nantucket, MA 1999, pp. 219–257.
- [7] E. Homburg y J. H. de Vlieger, 'A victory of practice over science: The unsuccessful modernisation of the Dutch white lead industry', *History and Technology* 1996, 13, 33–52. (Una versión adaptada de este artículo fue publicado como: 'A victory of practice over science: Failed innovations in the white lead industry (1780–1850)', *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, 1996, 46, 95–112.
- [8] S. Jacob, *Chemische Vor- und Frühindustrie in Franken. Die vorindustrielle Produktion wichtiger Chemikalien und die Anfänge der chemischen Industrie in fränkische Territorien des 17., 18. und frühen 19. Jahrhunderts*, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1968.
- [9] U. Klein, 'Apothecary-Chemists in Eighteenth-Century Germany'. En: L. M. Principe (ed.), *New Narratives in Eighteenth Century Chemistry* (Dordrecht: Springer, Dordrecht, 2007, pp. 97–137.
- [10] U. Klein, 'Apothecary's shops, laboratories and chemical manufacture in eighteenth-century Germany'. En: L. Roberts, S. Schaffer, y P. Dear (eds.), *The mindful hand: Inquiry and invention from the late Renaissance to early industrialisation*, Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Amsterdam, 2007, pp. 246–276.
- [11] U. Klein, 'Die technowissenschaftlichen Laboratorien der Frühen Neuzeit,' *NTM – Internationale Zeitschrift für Geschichte und Ethik der Naturwissenschaften, Technik und*

Medizin, 2008, 5–38.

- [12] U. Klein, W. Lefèvre, *Materials in Eighteenth-Century Science: A Historical Ontology*, The MIT Press, Cambridge, 2007.
- [13] R. P. Multhauf, *The Origins of Chemistry*, Oldbourne, London, 1966. (reprinted 1993).
- [14] A. E. Musson (ed.), *Science, Technology, and Economic Growth in the Eighteenth Century*, Methuen & Co., London, 1972.
- [15] A. E. Musson, Eric Robinson, *Science and Technology in the Industrial Revolution*, Manchester University Press, Manchester, 1969. (reprinted 1989).
- [16] C. Singer, *The Earliest Chemical Industry: An Essay in the Historical Relations of Economics & Technology illustrated from the Alum Trade*, The Folio Society, London, 1948.
- [17] R. W. Soukup, *Chemie in Österreich. Von den Anfängen bis zum Ende des 18. Jahrhunderts. Bergbau, Alchemie und frühe Chemie. Geschichte der frühen chemischen Technologie und Alchemie des ostalpinen Raumes unter Berücksichtigung von Entwicklungen in angrenzenden Regionen*, Böhlau Verlag, Wien, Köln, Weimar, 2007.
- [18] J. G. Smith, *The Origin and Early Development of Heavy Chemical Industry in France*, Clarendon Press, Oxford, 1979.

Siglo XIX

- [1] D. Chilton, N. G. Coley, 'The laboratories of the Royal Institution in the nineteenth century,' *Ambix* 1980, 27, 173–203.
- [2] L. F. Haber, *The Chemical Industry during the Nineteenth Century: A Study of the Economic Aspects of Applied Chemistry in Europe and North America*, Clarendon Press, Oxford, 1958.
- [3] P. M. Hohenberg, *Chemicals in Western Europe, 1850–1914: An Economic Study of Technical Change*, Rand McNally & Co., Chicago, 1967.
- [4] E. Homburg, 'The emergence of research laboratories in the dyestuffs industry, 1870–1900', *British Journal for the History of Science* 1992, 25, 91–111.
- [5] E. Homburg, 'The rise of analytical chemistry and its consequences for the development of the German chemical profession (1780–1860)', *Ambix* 1999, 46, 1–32.
- [6] E. Homburg, A. S. Travis, H. G. Schröter (eds.), *The Chemical Industry in Europe, 1850–1914: Industrial Growth, Pollution, and Professionalization*, Kluwer, Dordrecht, 1998.
- [7] J. P. Murmann, *Knowledge and Competitive Advantage: The Coevolution of Firms, Technology, and National Institutions*, Cambridge University Press, Cambridge, 2003.

Siglo XX

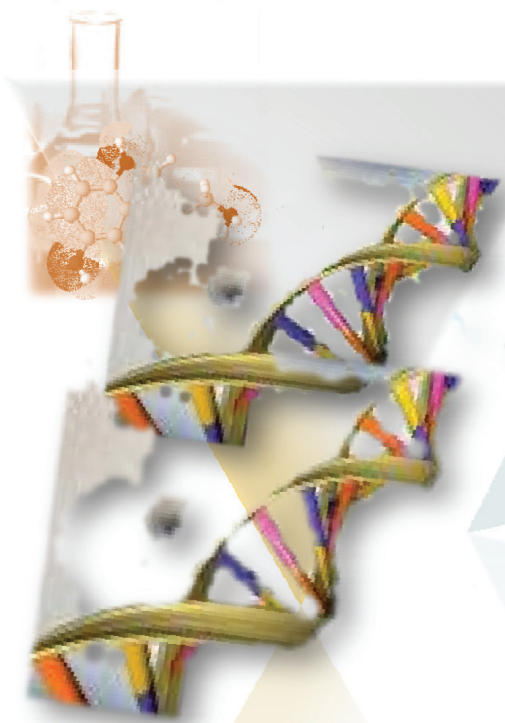
- [1] A. Arora, R. Landau, N. Rosenberg, *Chemicals and Long-term Economic Growth: Insights from the Chemical Industry*, John Wiley & Sons, New York, 1998.
- [2] A. D. Chandler, Jr., *Scale and Scope: The Dynamics of Industrial Capitalism*, Harvard University Press, Cambridge, 1990.
- [3] A. D. Chandler, Jr., *Shaping the Industrial Century: The Remarkable Story of the Evolution of the Modern Chemical and Pharmaceutical Industries*, Harvard University Press, Cambridge, 2005.
- [4] C. Divall, S. F. Johnston, *Scaling Up: The Institution of Che-*

- mical Engineers and the Rise of a New Profession*, Kluwer, Dordrecht, **2000**.
- [5] L. Galambos, T. Hikino, V. Zamagni (eds.), *The Global Chemical Industry in the Age of the Petrochemical Revolution*, Cambridge University Press, Cambridge, **2007**.
- [6] L. F. Haber, *The Chemical Industry 1900–1930: International Growth and Technological Change*, Clarendon Press, Oxford, **1958**.
- [7] D. Mittmann, *Die chemische Industrie im nordwestlichen Mitteleuropa in ihrem Strukturwandel*, Franz Steiner, Wiesbaden, **1974**.
- [8] A. van Rooij, E. Homburg, *Building the Plant: A History of Engineering Contracting in the Netherlands*, Walburg Pers, Zutphen, **2002**.
- [9] P. H. Spitz, *Petrochemical: The Rise of an Industry*, John Wiley & Sons, New York, **1988**.
- [10] P. H. Spitz (ed.), *The Chemical Industry at the Millennium: Maturity, Restructuring, and Globalization*, Chemical Heritage Foundation, Philadelphia, **2003**.
- [11] A. S. Travis, H. G. Schröter, E. Homburg, P. J. T. Morris (eds.), *Determinants in the Evolution of the European Chemical Industry, 1900–1939: New Technologies, Policy Frameworks, Markets and Companies*, Kluwer, Dordrecht, **1998**.



ESCUELA DE VERANO DESARROLLO DE NUEVOS FÁRMACOS

Universidad de Castilla-La Mancha ♦ Toledo, 5-8 Julio 2009



La Escuela de Verano “Desarrollo de Nuevos Fármacos” organizada por la Sociedad Española de Química Terapéutica, la Universidad de Castilla-La Mancha y Janssen-Cilag España tiene como objetivo acercar la industria farmacéutica a jóvenes investigadores pre- y post-doctorales del área de la química y las ciencias de la salud. Durante tres días, y dentro de un programa de alto nivel científico, los asistentes tendrán la oportunidad de acceder a los últimos avances y tendencias en el descubrimiento de fármacos e interactuar con profesionales de la industria farmacéutica y todo ello en el incomparable marco de la ciudad de Toledo.

Comité Organizador

Javier Fernández Gadea (Janssen Cilag España) ♦ Rosario González Muñoz (CSIC)
♦ Fernando Langa de la Puente (UCLM) ♦ María Luz López Rodríguez (UCM) ♦
Silvia Ortega Gutiérrez (UCM) ♦ Antoni Torrens Jover (Esteve)



www.seqt.org ♦ seqt2009@quim.ucm.es