

Señores académicos:

Señoras y señores:

Es obligado empezar estas conferencias o presentación ante las personalidades que desde ahora serán mis compañeros, con unas frases de agradecimiento, y en mi caso esta obligación, tan especialmente justificada, he de cumplirla con mucha satisfacción. Me habéis conferido el honor de llevarme a compartir vuestras tareas dedicadas a elevar, si cabe, el rango y prestigio de la profesión y de la ciencia farmacéutica en España, y con extremada benevolencia habéis creído que mis actividades profesionales, al lado de uno de los académicos que más han contribuido al desarrollo de nuestra industria farmacéutica, han podido comunicarme alguna cualidad que justifique vuestra elección. Tanto si habéis acertado como si ha de serme imposible corresponder a vuestra confianza, vengo hoy a decir os cuán profundamente os agradezco este honor, y a prometeros que pondré toda mi buena voluntad para ayudaros en una empresa que, hasta cierto punto, es nueva para mí, pero que ofrece amplia perspectiva para cuantos tenemos el sentimiento del deber frente a los problemas de nuestra Patria.

DON JOSE MARIA FERNANDEZ-LADREDA y MENENDEZ-VALDES

Antes de empezar con lo que ha de ser el tema de mi conferencia, y cumpliendo con el máximo cariño una de mis obligaciones de este acto, he de referirme a mi antecesor en esta Academia, del que he de recoger la medalla que dejó, al abandonar el mundo de sus amigos y de sus extraordina-

rias actividades, con el que durante muchos años me unió una profunda amistad, inaugurada en el único fracaso de mis ambiciones académicas, es decir, en circunstancias que para mi vida intelectual tuvieron la mayor importancia, y luego, al correr de los años, aumentada por la colaboración en el trabajo universitario desarrollando las directrices técnicas de nuestras Facultades de Ciencias, cuyo éxito sin su ayuda habría sido imposible.

Don José María Fernández-Ladreda y Menéndez-Valdés fue general de división del Cuerpo de Ingenieros de Armamento, doctor en Ciencias Químicas, catedrático de las Facultades de Ciencias de Sevilla, Oviedo y Madrid. En esta Universidad explicó la asignatura de Química Industrial, además de desarrollar cursillos de temas económicos y legales relativos a la industria química. Fue también ministro de Obras Públicas y profesor de la Academia de Artillería de Segovia, Director de la Escuela politécnica del Ejército, jefe del Taller de Precisión de Artillería, académico numerario de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, miembro del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, etc.

Ostentaba las grandes Cruces de San Hermenegildo, del Mérito Militar y Naval, la medalla de oro al Mérito en el Trabajo, la Encomienda de número de la Orden Civil de Alfonso X el Sabio, etc.

Siempre amigo de los amigos, impetuoso en la defensa de la justicia, ponía sin reparos su bien ganado prestigio al servicio de toda idea dirigida al engrandecimiento de la Patria, cualquiera que fuese el dominio social de la misma.

Con su muerte puede decirse que no sólo esta Academia, sino todos los organismos donde su enorme capacidad de trabajo le llevaba a intervenir, perdieron un hombre imposible de reemplazar. Que Dios le haya premiado en el otro mundo su bondad y su actuación durante su vida en la defensa del bien y de la justicia.

LA INGENIERIA QUIMICA

He elegido como tema de mi conferencia «La Ingeniería Química y la Industria Farmacéutica». A quienes conozcan mi vida en el campo de la ciencia y de la enseñanza, la elección no puede sorprenderles. Cuando, hace veinte años, empecé a explicar en la Facultad de Ciencias la cátedra llamada en aquellos tiempos Química Técnica, nombre que ya era entonces difícil de justificar, introducida en la licenciatura en Ciencias Químicas para dar la ocasión de desarrollar enseñanzas dirigidas a la formación de los que estudiaban Química, no como algunos de mis compañeros pretendían, con el exclusivo objeto de la enseñanza, sino para trabajar luego en la industria, organicé los estudios en la dirección que en los Estados Unidos se llamaba Ingeniería Química, de cuyo contenido y de cuya utilidad se tenía allí un concepto claro que iba extendiéndose poco a poco, como es costumbre que marchen las cosas universitarias, por todos los países industriales, hasta una rápida y unánime aceptación después de la segunda guerra mundial. En España, antes de nuestra guerra, los profesores de Química Técnica explicaban con carácter puramente descriptivo una serie de industrias químicas, dedicando a cada una de ellas mucho menos tiempo del necesario para formar, siquiera teóricamente, un químico para actuar en ellas, y obligando a los alumnos, cuyo porvenir no tenía que depararle trabajo en ninguna de las industrias explicadas, a estudiar lo que no les interesaría jamás. Las prácticas casi siempre consistían en análisis de productos industriales, cuando el profesor no se empeñaba en imitar en el laboratorio un alto horno con un chubesqui y un ventilador.

Hace ya años que esta orientación de la enseñanza ha sido desterrada, y todos estamos convencidos de que la mayor atención debe dirigirse a los fundamentos generales, y que la enseñanza descriptiva de industrias actuales sólo debe llegar hasta donde sea necesario, como ilustración de las

leyes fundamentales. Se reconoce el absurdo que representa tratar de enseñar a los estudiantes los detalles mínimos de una amplia variedad de industrias, sabiendo que estos detalles pueden aprenderse más rápida y más exactamente en la propia industria, y que ningún jefe de empresa colocará un graduado porque sepa describirle cómo se fabrican sus productos, cuando lo que busca es un hombre que pueda aprender rápidamente estas materias y tenga habilidad para resolver los nuevos problemas que aparezcan.

La situación actual en nuestras Facultades de Ciencias es muy distinta, y me atrevo a decir, mucho mejor, porque hoy ningún universitario olvida que la misión de la Universidad es formar hombres con el espíritu, con el carácter y con los conocimientos necesarios para que su actuación en la vida social sea lo más elevada posible. Dejamos la utilidad al margen de las cualidades de un hombre, porque no podemos desconocer ejemplares que se clasifican de personas perfectamente inútiles para la vida práctica y vulgar, pero que han influido poderosamente en la marcha de la Humanidad, en su camino ascendente. En las Secciones de nuestras Facultades de Ciencias se forman físicos, químicos, matemáticos y naturalistas, se les dan conocimientos básicos de sus ciencias y se les moldea el espíritu que ha de animarles en su actuación. Se acepta la especialización en los últimos cursos de su carrera mediante el estudio de materias que completan la enseñanza básica, y se acorta el período de adaptación a una actividad concreta cuando, ya graduados, han de ganarse la vida con su trabajo fuera de la Universidad. No hay, pues, un solo plan de estudios, sino varios, y aun así no se llega a una solución ideal, porque la diversidad de inteligencias y cualidades exigiría para cada alumno un plan, lo que no debe confundirse con una especialización unilateral de cada uno de ellos.

Con este concepto de la misión universitaria, es evidente que la descripción específica de industrias químicas no es útil para un futuro químico. Como enseñanza muy especializada, para los que no han de hacer química con sus manos y con su inteligencia, sino para los que han de coordinar

empresas, es útil lo que los americanos llaman Química Industrial, disciplina constituida fundamentalmente por el estudio de las relaciones técnicas y económicas entre primeras materias, fabricación de productos químicos y aplicaciones de los mismos, pues son los conocimientos que más interesan a quienes hayan de dirigir y planear empresas técnicas o el desenvolvimiento industrial de una nación.

En este momento creemos necesario llamar la atención sobre el peligro que entrañan estos estudios, que sólo pueden aprovechar un número limitadísimo de personas, es decir, aquellas cuya única misión es dirigir, y son como el último eslabón de una larga cadena, que sólo sirven para mandar, y aparecen como liberados del gran deber de todos los que formamos la sociedad: el deber de la obediencia. Si el grito de las brujas de Macbeth, «tú serás rey», puede ser justificable cuando se dirige a una sola persona, es necesariamente perjudicial y peligroso si se dedica a un grupo numeroso de alumnos, pues forma un exceso de aspirantes a dirigir, a desarrollar sus actividades como director o como jefe supremo, detrás de una mesa de despacho y sin vocación, que no pudo serle inculcada, para lo que la técnica necesita: hombres que saben trabajar con sus manos guiadas por un cerebro bien pertrechado de conocimientos básicos y prácticos.

La Ingeniería Química, que, indudablemente, tiene antecedentes en Europa, nació y está evolucionando en la América del Norte. Después de la segunda Gran Guerra arraigó en Inglaterra, cuyas Universidades cuentan ya con excelentes escuelas orientadas en el mismo sentido que las americanas, y ha causado un impacto profundo en las Universidades alemanas, muchos de cuyos profesores han demostrado su conformidad con los métodos americanos, pero han de debatirse con métodos y planes de enseñanza distintos, que en este país gozan de la ventaja de los éxitos logrados por la industria química alemana prescindiendo de la Ingeniería Química en el sentido estricto, y formando sus técnicos químicos por un procedimiento distinto, cuya eficacia demuestran plenamente los hechos.

Probablemente, los americanos serán durante muchos

años los pioneros de la enseñanza y de la formación de los técnicos de la industria química, y ello no sólo por sus medios económicos y por las dimensiones de sus empresas, sino porque, con criterio económico, están continuamente preocupados por el problema de formar al personal eficaz en número creciente, y con la mayor rapidez compatible con la necesidad de una formación completa del mismo. Contribuye poderosamente al perfeccionamiento de la enseñanza técnica en los Estados Unidos la Asociación Americana de Ingenieros Químicos, que interviene y vigila los planes de estudio, los medios y el material de enseñanza, el profesorado, etc., de las escuelas y Universidades que pueden otorgar el diploma de Ingeniería Química.

La mejor bibliografía reciente, para estudiar el estado actual de la Ingeniería Química en el mundo, la constituyen las publicaciones hechas con motivo de la magna celebración, en 1958, del 50 aniversario de la fundación del Instituto Americano de Ingenieros Químicos. En ellas puede verse la pujanza de este Instituto y el brillante papel que desempeña en la vida y desarrollo de la Industria Química americana. No podrá, pues, extrañar que al hablar de Ingeniería Química hagamos referencia continuamente a los Estados Unidos.

Que el rápido crecimiento de la industria química americana después de la primera gran guerra, que en pocos años pasó de una modesta producción a un desarrollo muy superior al de cualquier otro país, es atribuible a la enseñanza de la Ingeniería Química, lo demuestra el hecho de la atención que otras naciones de industria también poderosa han dedicado a estudiarla sobre el terreno. En 1950, la O. E. C. E. envió a los Estados Unidos una Comisión de Asistencia Técnica que, a su regreso, publicó un informe: *L'appareillage chimique aux Etats-Unis* (Organización Europea de Cooperación Económica, París, 1952), en el que se adjudica a los ingenieros químicos americanos toda la gloria del progreso americano de su industria química.

Más recientemente, en octubre de 1956, bajo los auspicios del Departamento de Investigación Científica e Industrial,

se publicó un informe titulado «La Ingeniería Química en Estados Unidos» (D. S. I. R. Technical Overseas Reports, número 2, H. M. S. O., Londres, 1956), redactado por P. H. Calderbank, que pasó varios meses en calidad de agregado a la misión científica del Reino Unido en Wáshington.

En el año 1901, G. E. Davis publica en Inglaterra el primer libro de Ingeniería Química, *A Handbook of Chemical Engineering*; su impacto en la enseñanza oficial en Europa fue nulo, pero poco después, en 1907, W. H. Walker, en la Universidad de Massachusetts, hoy conocida en todo el mundo como Instituto de Tecnología de Massachusetts (M. I. T.), funda el Departamento de Química Aplicada, y en él nace la Ingeniería Química, sobre todo, por iniciativa del Dr. W. K. Lewis, secundado por un grupo de profesores de este Instituto. En 1908 se funda el Instituto Americano de Ingenieros Químicos, a base de los pocos químicos industriales que en aquellas fechas existían en América, y luchando con el recelo de otras asociaciones, como la American Chemical Society, que ya entonces era muy poderosa, y con la incomprensión de muchos químicos que sólo aceptaban la existencia de la Ingeniería clásica civil, mecánica, eléctrica, etc.

Walker, Lewis y Mc Adams publican en 1913 el primer tratado de Ingeniería Química: *Principles of Chemical Engineering*, con el nuevo concepto de esta ciencia, cuyo contenido quedó así definido y, con ello, aceptado en toda América. Su aparición representa una fecha crucial para la preparación y formación de los químicos que han de trabajar en la industria química, y para el desarrollo de la misma.

La mejor y quizá la única definición posible de una ciencia es un curso o un libro que la explique, y ello, no sólo por la dificultad intrínseca de toda definición, sino porque la ciencia es algo vivo, que evoluciona continuamente, expansionándose y contrayéndose en sus límites y, por tanto, en su contenido. De esta evolución no está libre la Ingeniería Química. Cuando se creó, su definición, estaba ligada a las llamadas «operaciones unitarias». Así, el Instituto Americano de Ingenieros Químicos la definió como una rama de la

Ingeniería que se ocupa del desarrollo y aplicación de procesos industriales, en los cuales intervienen algunos cambios físicos o químicos, y que estos procesos pueden reducirse a una serie coordinada de operaciones físicas básicas y de procedimientos químicos básicos, lo que hoy llamamos operaciones unitarias y procesos básicos. El célebre libro de G. G. Brown, traducido al español recientemente con el título *Operaciones básicas de la Ingeniería Química*, en las ediciones inglesas lleva el nombre *Unit Operations*, y los autores advierten que, si es el primero que lleva este nombre, no es el primero que trata este tema. En efecto, si se recuerda el contenido de los libros anteriores de Ingeniería Química, se comprueba inmediatamente la unidad de temas estudiados en todos ellos. Por tanto, podemos afirmar que, a juzgar por los textos, existe equivalencia entre Ingeniería Química y Operaciones Unitarias.

El Dr. A. D. Little, en 1915, expone por primera vez el concepto de operación básica, pues cualquier proceso químico puede descomponerse en una sucesión de acciones básicas, tales como pulverizar, separar, mezclar, extraer, adsorber, cristalizar, calentar, filtrar, destilar, etc. Cada una de estas operaciones esencialmente se conserva invariable en sus principios y hasta en el modo de operar en cualquiera de las industrias que las utilizan. Por tanto, en lugar de estudiar industrias con sus equipos de trabajo, que antes parecían características insustituibles de cada una de ellas y que, por esta causa, conservaban con frecuencia formas y construcciones que hoy, en su mayor parte, han resultado absurdas, se estudian los fundamentos físicos y químicos de cada operación básica, el cálculo de las dimensiones y detalles de la construcción de los aparatos que pueden utilizarse, etc. El proyecto de una fábrica queda reducido a determinar la secuencia de operaciones básicas necesarias, calcular los aparatos y encadenarlos uno con otro de la manera más eficaz, todo ello con un criterio económico, que es imprescindible en todo proyecto industrial.

En los libros de Ingeniería Química actuales es difícil encontrar operaciones básicas que no sean fundamentalmente

físicas, para las cuales, a la vista del contenido y del título de los libros clásicos, reservamos el nombre de operaciones unitarias. Hace ya algunos años que se cayó en la cuenta de que en una industria química existen operaciones fundamentalmente químicas que se repiten en otras industrias con idénticos fundamentos físico-químicos. Llamó la atención sobre ello el libro de Groggins *Unit Processes in Organic Synthesis*, publicado en 1935, en el que por primera vez se describen, desde el punto de vista industrial y general, operaciones tales como la sulfonación, halogenación, etc., cuya secuencia constituye muchas veces el proceso de síntesis industrial de los productos químicos orgánicos. A estas operaciones les llamaremos *procesos básicos o unitarios*, y con ello la Ingeniería Química puede definirse como «el estudio de operaciones unitarias y de procesos básicos».

La Ingeniería Química es una ciencia o, al menos, una región limitada y bien definida de las Ciencias Físicas y Químicas. Su denominación fue ampliamente discutida al crearse el Instituto Americano de Ingenieros Químicos, muchos de cuyos socios preferían los nombres de *Química Industrial* o de *Química Aplicada*. No creo que sea hora de discutirla, pues siempre he pensado que quien crea una cosa nueva tiene derecho a bautizarla, y que el nombre que le dé sea aceptado en todas las lenguas. Muchos de los miembros del Instituto Americano de Ingenieros Químicos son y se llaman a sí mismos doctores, porque este grado es el más alto otorgado por las Universidades y escuelas de todo el mundo, y el título de ingeniero es el inferior de los graduados universitarios y de las escuelas técnicas. Aceptada la denominación de Ingeniería Química, es indiscutible para los que la practican la de ingeniero químico o de ingeniero en Ingeniería Química, como dice el Dr. Ribosa en una conferencia, cuya lectura recomendamos a cuantos se interesen por este tema, pronunciada en la apertura del curso 1958-59 del Instituto Químico de Sarriá.

Veamos ahora algún ejemplo de operación unitaria, que quizá aclarará el concepto y la importancia de la Ingeniería Química. La *filtración* aparece en todas las industrias quí-

micas con una notable diversidad de aparatos, y aun de la marcha de los mismos, que a primera vista puede parecer arbitraria y constituir un argumento a favor de la especializada descripción de cada industria. Sin embargo, el estudio del mecanismo de la filtración, después de poner en evidencia los numerosos factores que en ella intervienen, con el concurso de teorías derivadas de hipótesis simplistas que facilitan la resolución de las ecuaciones matemáticas, se llega a fórmulas de validez limitada, pero útiles, porque en ellas intervienen parámetros directamente relacionados con las características del sólido que ha de separarse por filtración. Para llegar a su conocimiento, en la mayor parte de los casos, basta realizar experiencias con medios sencillos de laboratorio, cuya interpretación matemática resuelve la posibilidad de calcular las características del filtro que, en cada caso, conviene. La finura de las partículas que se han de filtrar, la rapidez y facilidad con que se aglomeran y obstruyen el filtro, la compresibilidad de las mismas, su carga eléctrica que a veces desempeña un papel importante en esta operación, etc., reconocibles por los parámetros de las ecuaciones de filtración señalan el tipo de filtro adecuado, su capacidad horaria y sus dimensiones. Por otra parte, la Ingeniería Química se preocupa también del aspecto económico de sus operaciones. Cuando la cantidad de precipitado a separar es pequeña, pueden emplearse filtros cuya limpieza es costosa con arreglo a un criterio exclusivamente económico. Dos precipitados físicamente análogos, impurezas sólidas de los aceites y materias en suspensión del agua potable pueden separarse, el primero con una ultracentrífuga cara, y que ocupe poco espacio por unidad de producción, y las segundas con filtros de arena de gran superficie y de construcción y mantenimiento económicos. Productos que se preparan en grandes masas se pueden separar con centrífugas o con filtros continuos, caros, pero de gran capacidad. Lo fundamental que hoy conocemos de la filtración es muy extenso, y la investigación aumenta cada día el caudal de nuestros conocimientos, cuya aplicación tiene una enorme importancia para la industria química.

Otra operación unitaria fundamental para muchas industrias es la rectificación, un procedimiento general para desdoblar mezclas líquidas por destilación y condensación, y que fue probablemente la primera a la que se dedicó un libro. Sorel, en Francia, donde la destilación de alcohol tiene mucha importancia desde hace varios siglos, publicó en 1893 el primer tratado de destilación, que hoy, a pesar de los años transcurridos, sigue siendo fundamental. Antes, otros franceses habían perfeccionado la rectificación del alcohol, y habían creado lo esencial de los artificios empleados ahora en muchas industrias para muy variados productos. Juan Bautista Cellier-Blumenthal inventó la columna de rectificación, con la contracorriente de líquido y vapor y las campanas de borboteo, características de muchas instalaciones actuales. Su aparato poseía también el condensador de reflujo, inventado tiempos atrás por Berard. La patente de Cellier-Blumenthal fue tomada en 1813 para recuperar y concentrar el alcohol empleado según una patente anterior del mismo autor, en la refinación del azúcar.

Si de una mezcla binaria en ebullición recogemos y condensamos los vapores, en general, el producto condensado será más rico en el componente más volátil que el líquido residual. Habremos obtenido así un producto enriquecido en uno de los componentes. Repitiendo esta operación las veces necesarias, se llega a un producto final que puede ser uno de los componentes puros o una mezcla azeotrópica, cuya ebullición produce vapores de la misma composición que el líquido y, por tanto, que por este procedimiento no puede enriquecerse más. La columna de rectificación resuelve el problema de realizar las múltiples destilaciones necesarias de un modo automático, continuo y económico. Esencialmente consiste en una columna dividida en pisos, cada uno de los cuales tiene una salida de líquidos al piso inferior, y una campana a través de la cual ascienden los vapores borbotando a través del líquido que contiene. Los vapores ascendentes ceden al líquido que atraviesan su calor latente de condensación, a expensas del cual el líquido hierve; produciendo vapores más concentrados. Es fundamental para

el cálculo de estos aparatos el conocimiento del diagrama que permite representar para cada composición del líquido la composición de equilibrio del vapor. La diferencia entre ellas sería el enriquecimiento del vapor (o el empobrecimiento del líquido) en componente volátil que se produciría en cada piso si el contacto entre líquido y vapor fuese suficientemente prolongado para que el equilibrio se estableciese. Este piso ideal se llama piso teórico. La columna de rectificación puede simplificarse mecánicamente suprimiendo los pisos, y sustituyéndolos por un relleno constituido por piezas que permitan el descenso del líquido extendido en una superficie lo más grande posible y el paso de los vapores ascendentes. En el contacto de líquido y vapor se produce una pequeña parte del efecto que originaría un plato, y siempre será posible determinar qué altura de la columna con relleno produce el mismo efecto que un piso, es decir, qué diferencia de altura hay entre un plano con líquido de una determinada composición y otro plano en el que la composición del vapor sea la que en el diagrama de equilibrio correspondería a la del líquido del plano inferior. A esta altura se le llama altura del piso teórico, y en su conocimiento experimental, junto con el diagrama de equilibrio, se basa el cálculo de toda la columna de rectificación.

La industria maneja mezclas numerosísimas de líquidos, y para cada una de ellas es necesario determinar experimentalmente el diagrama de equilibrio. Cada día se presenta el problema de destilar nuevas mezclas que, muchas veces, tienen más de dos componentes. En este caso, para la representación del equilibrio se recurre a la geometría del espacio, por ejemplo, el sistema tetraédrico, si son cuatro los componentes y en ellos es necesario determinar las particularidades de las superficies de equilibrio y composición. Los métodos experimentales para obtener los datos de equilibrio son algunas veces muy complicados, especialmente cuando no puede prolongarse el tiempo de contacto entre líquido y vapor, ya sea porque los cuerpos que los forman sean inestables, bien porque entre los componentes pueda producirse una reacción química. Con mis alumnos y colaboradores

hemos contribuido a aumentar el número de sistemas conocidos, y continuamos trabajando en este tema en busca de relaciones termodinámicas o empíricas que permitan prever la forma de un diagrama de equilibrio a partir de las propiedades de los componentes, lo que podría simplificar la enorme labor experimental necesaria para desentrañar el comportamiento de una mezcla durante la destilación.

Otro problema de la rectificación se presenta cuando existen mezclas azeotrópicas que imponen un límite a la concentración del rectificado. En el caso conocido por todos del sistema alcohol-agua, la mezcla azeotrópica, que es el producto comercial, tiene el 96 por 100 de alcohol, riqueza máxima que puede alcanzarse por rectificación a la presión atmosférica. Para llegar al alcohol absoluto existen dos caminos: el primero, consiste en desplazar la composición del azeotropo hacia riquezas mayores, mediante la adición de un tercer cuerpo no volátil. En mi cátedra se ha demostrado la posibilidad de llegar a alcohol anhidro disolviendo en el alcohol acuoso que se destila nitrato cálcico comercial, que es un producto barato y fácil de recuperar indefinidamente. Otro camino consiste en destilar en la columna de rectificación la mezcla hidroalcohólica con benzol. Como componente más volátil aparece en la cabeza de la columna una mezcla de benzol y alcohol muy rica en agua; el benzol arrastra, pues, el agua, y en la parte inferior de la columna queda una mezcla anhidra de alcohol y benzol, cuya rectificación da benzol en la cabeza de la columna y alcohol anhidro en la base.

De estos hechos tenemos hoy un conocimiento muy completo, que ha permitido resolver por rectificación separaciones de cuerpos volátiles, que antes no podía hacerse más que por procedimientos muy complicados y costosos.

Creemos que estos ejemplos permitirán que mis oyentes comprendan el contenido de la Ingeniería Química y su importancia para el desarrollo de la industria química.

El número de operaciones unitarias era hace pocos años muy limitado; descubrimientos posteriores han ido aumentando este número considerablemente, porque operaciones

que en sus comienzos sólo se realizaban en los laboratorios en escala de gramos, han pasado a ser medios poderosos para la industria. Recordemos la cromatografía, el cambio de iones, la purificación hasta límites extraordinarios por el método de fusión de zonas, etc., recién descubiertas o estudiadas, que hoy constituyen ya capítulos de la Ingeniería Química. El campo de esta Ingeniería, con sus operaciones unitarias, se ha ido extendiendo de tal modo que ha llegado a ser una disciplina inabordable en menos de dos cursos universitarios. Por otra parte, no se ha olvidado que la química física tiene un papel decisivo en todas las reacciones químicas que la Ingeniería Química no puede desconocer.

Son fundamentales las leyes clásicas de la estática y de la cinética químicas, que relacionan las variables temperatura, concentración de los cuerpos reaccionantes y presión. Por otra parte, la cinética está casi siempre determinada o influenciada por catalizadores, y en la industria se utiliza la catálisis continuamente.

Es frecuente que en el resultado de una reacción industrial sólo influya la cinética de la misma. Un gasógeno de gas pobre, constituido por el sistema carbono, oxígeno y agua, puede estudiarse sin conocer las condiciones de equilibrio entre estos cuerpos y los productos de la reacción, anhídrido carbónico, óxido de carbono metano e hidrógeno, cuyas concentraciones en el gas de gasógeno están muy alejadas de las que corresponden al equilibrio entre todos los componentes que, por otra parte, conocemos muy bien gracias a las minuciosas investigaciones realizadas por los fisicoquímicos. El tiempo de contacto entre los cuerpos reaccionantes es demasiado corto para que se lleguen a establecer algunos de los equilibrios, y, por otra parte, las condiciones que prevalecen dentro del gasógeno, especialmente la temperatura, varían de un punto a otro del mismo con mucha mayor rapidez de lo que puede hacerlo la composición.

Otro ejemplo industrial típico de una reacción controlada exclusivamente por la cinética es la oxidación catalizada del amoníaco. El tiempo de contacto entre el platino o, en general, entre el catalizador y la mezcla de amoníaco y aire

es del orden de milésimas de segundo, y en este tiempo desaparece totalmente el amoníaco y los gases que salen del transformador contienen oxígeno, óxido nítrico y nitrógeno libre, que sólo en pequeña proporción procede del amoníaco y representa lo que falta hasta 100 para el rendimiento cuantitativo de la reacción. La Termodinámica, apoyándose en las constantes de equilibrio de todas las reacciones posibles en este caso, y suponiendo que estos equilibrios fuesen alcanzados, demuestra que el producto de la reacción del amoníaco con el oxígeno debería estar constituido exclusivamente por agua y nitrógeno, es decir, que la oxidación del amoníaco, con la que se fabrica la mayor parte del ácido nítrico en la industria, sólo es posible porque alguna de las reacciones que en ella intervienen es suficientemente lenta para permitir su congelación en forma de óxidos de nitrógeno, que a más baja temperatura pueden ser transformados con facilidad en ácido nítrico.

En otras reacciones industriales se procura llegar a la mayor proximidad posible del equilibrio. Un ejemplo de ellas es la síntesis del amoníaco a partir de nitrógeno e hidrógeno. El tanto por ciento de la mezcla transformada en amoníaco puede ser muy grande o muy pequeño, según lo sean las condiciones de presión y de temperatura a que se opere, y la elección de éstas está determinada por factores fundamentalmente de origen económico y relacionados con el coste de la instalación y de la explotación del proceso.

Gracias a la Termodinámica y a sus resultados experimentales, es posible predecir las condiciones más favorables o ideales para realizar una reacción química desde el punto de vista teórico. Esto constituye sólo el primer paso cuando se trata de fabricar un nuevo producto o montar un nuevo método de fabricación, ya que la Química Industrial no puede perder de vista el aspecto económico de su trabajo, y el estudio económico de una reacción exige que se tengan en cuenta los artificios con los cuales ha de realizarse. Aparece, pues, el problema de proyectar la instalación capaz de operar en las condiciones previstas, y surgen entonces cuestiones de dimensiones, forma y estructura de los aparatos,

materiales que resistan las condiciones mecánicas, térmicas y químicas impuestas, cuestiones de seguridad, automatismo y regularidad del trabajo, etc. Generalmente, el proyectista se encuentra con el hecho de que las condiciones ideales de cada parte de su proyecto se contradicen con las que exigen las demás, y sólo el buen sentido permite transformar las contradicciones en uno o varios problemas de máximos y mínimos que conducen a la solución ideal del *todo*, con soluciones imperfectas de cada una de las *partes*.

Por lo que hemos dicho, se comprende la necesidad de que el químico que trabaja para la industria conozca los fenómenos catalíticos y el comportamiento de los materiales de construcción frente a los agentes químicos. La Ingeniería Química amplía continuamente el campo de la ciencia en que se ha de mover. Por esto, no es de extrañar que, en 1954, el Instituto Americano de Ingenieros Químicos, para definir la ciencia que éstos cultivan y aplican, haya prescindido de operaciones y procesos unitarios, hoy demasiado numerosos y heterogéneos, y haya adoptado para la Ingeniería Química una definición más extensa, asignándole el objeto de aplicar los principios de las Ciencias Físicas, junto con los principios de la Economía y relaciones humanas, al campo a que pertenecen directamente los procesos y los aparatos con que se realizan estos procesos para efectuar cambios de estado, composición y energía de la materia.

A lo largo de este discurso creemos haber expuesto un cuadro bastante exacto de la Ingeniería Química, tal como se entiende y practica en el país de su nacimiento, los Estados Unidos, y en otras naciones que, más o menos abiertamente, lo han imitado, entre las cuales destaca, en primer lugar, Inglaterra, seguida de Holanda, Francia y otras naciones de Europa, sin contar los países americanos más directamente influenciados por Norteamérica. Las Universidades y escuelas técnicas suizas siguen con planes de estudio que esencialmente no se han modificado más que por la introducción de asignaturas que constituyen capítulos muy importantes de la Ingeniería Química. La evolución de la enseñanza técnica química en Alemania, país que hoy admiramos todos por el

papel que ha desempeñado en la industria química, y que renueva en nuestros días con una admirable pujanza, no ha seguido el derrotero fijado por América del Norte, y no parece fácil que lo siga, por ahora. Realmente, se podrá discutir si los métodos americanos para la formación de técnicos son más o menos racionales que los de Alemania, pero no puede dudarse de que los resultados alcanzados por esta nación, con medios económicos muy limitados, no tiene nada que envidiar a los de cualquier otro país industrial. Las figuras más representativas de la enseñanza técnica en Alemania prefieren hablar del *Verfahren-Ingenieur* o ingeniero de procedimientos o procesos. El Dr. W. Siemens define la técnica de procesos como ejecución de operaciones químico-físicas que conducen a una transformación o cambio de estado en la materia, tanto desde el punto de vista industrial como comercial, así como el desarrollo de procedimientos de fabricación basados en dichas operaciones, definición que no difiere esencialmente de la que está acreditada entre los ingenieros químicos americanos.

En Alemania, como en todos los países que a principios de este siglo tenían una industria poderosa, las instalaciones para la preparación de productos químicos, antes de la primera gran guerra, fueron proyectadas y manejadas por la colaboración de un químico y un ingeniero mecánico, y en las grandes empresas alemanas existía entonces, como existe hoy, la posibilidad de un aprendizaje bien dirigido, tanto para los químicos con aficiones al trabajo con aparatos industriales como para los ingenieros mecánicos con aptitudes para colaborar con los químicos. Con frecuencia, algunos químicos llegaban a dominar las cuestiones mecánicas, y aun eléctricas, de una fábrica de productos químicos, y estaban en condiciones de trabajar sin otros colaboradores que los de categoría inferior a la suya. Apareció así el verdadero ingeniero químico, título poco apreciado en Alemania, porque se le atribuían muchos de los licenciados universitarios que abandonaban sus estudios antes de alcanzar el doctorado. De aquí la repugnancia con que fue recibida la Ingeniería Química, pues, para muchos, era un híbrido de

mecánica y química, sin formación básica suficiente en ninguna de estas dos ciencias. Poco a poco, el contenido netamente específico de la Ingeniería Química se ha puesto en claro, y con ello se ha llegado a comprender su utilidad y su valor como ciencia.

Si se comparan las materias y las horas dedicadas a cada una de ellas en los planes de estudio de las universidades americanas para otorgar el título de ingeniero químico, con los de las escuelas alemanas, donde se forman los futuros *Verfahren-Ingenieur*, se verá que la única diferencia esencial está en los títulos, y que los dos nombres de Ingeniería Química e Ingeniería de Procedimientos tienen el mismo contenido de cultura técnica y científica.

La utilidad en la industria de cualquier graduado depende, naturalmente, de la experiencia que tenga en plantas industriales, y es lógico que nos preguntemos de qué medios han de valerse las Universidades y escuelas técnicas para que sus alumnos adquieran esta experiencia. Indudablemente, las asignaturas deben tener sus prácticas, y éstas han de realizarse en condiciones lo más parecidas posible a las de la industria y, por tanto, con aparatos que, por sus dimensiones y construcción, deben estar muy distantes del material corriente de laboratorio. Sin embargo, debe tenerse presente que la misión de las prácticas, que nunca podrán tener ni conviene que tengan, la complicación de las operaciones de una fábrica, es principalmente consolidar y aclarar en los alumnos el contenido de las leyes y principios generales que el profesor explica. Por tanto, la misión fundamental de la enseñanza práctica es pedagógica. También la realización de proyectos, más o menos completos, de un aparato o de una instalación ha de considerarse como el complemento de las horas dedicadas a la resolución de problemas, con los cuales el alumno se familiariza con el cálculo; estos problemas los plantea el profesor, en tanto que el alumno durante el proyecto, y cuando trabaje en la industria, tendrá que plantearse los él mismo. La capacidad para ver problemas y plantearlos en la vida práctica es siempre el mejor índice de madurez y de eficacia de cualquier trabajador intelectual.

La adquisición de la experiencia industrial en la misma Universidad o escuela técnica es imposible, y todos los intentos que en éstas se hacen para facilitar a sus alumnos y graduados aquella experiencia, está dirigida a la colaboración pedagógica de las empresas industriales o en fábricas que, de algún modo, están administrativamente o técnicamente unidas a los grandes centros de enseñanza. Por otra parte, la *British Institution of Chemical Engineers*, en su definición de ingeniero químico supone que se trata de un profesional con experiencia en la industria, pero debe tenerse presente que en Inglaterra es esta institución la que da el espaldarazo definitivo al ingeniero y, para ello, puede exigir experiencia, es decir, que después o durante los estudios universitarios, el presunto ingeniero haya trabajado en una fábrica.

Independientemente de la necesidad de la experiencia industrial, es evidente que las Universidades que pretendan formar técnico del más alto nivel necesitan poseer instalaciones verdaderamente industriales, más allá de simples plantas-piloto, cuya utilidad, por otra parte, es hoy muy discutida. Así, han surgido en varios países las fábricas experimentales universitarias, cuya misión va más allá de proporcionar a sus alumnos experiencia y ambiente industrial, pues estas instalaciones universitarias sirven para que las empresas privadas o estatales puedan ensayar las soluciones de sus problemas técnicos con la colaboración de los universitarios y postgraduados, y con los aparatos hoy en gran parte normalizados de la industria química.

Hemos visto cómo el concepto de Ingeniería Química ha ido evolucionando con el tiempo. A la par, sobre todo en los Estados Unidos, ha evolucionado su enseñanza, y es de notar la intervención que en ella han tenido los propios graduados y técnicos a través del Instituto Americano de Ingenieros Químicos y de su comité para el desarrollo profesional, cuyas decisiones y recomendaciones son tenidas en cuenta por todas las Universidades donde se estudia la Ingeniería Química. Cuadro de profesores, planes de estudios, programas de trabajo, métodos de enseñanza, laboratorios

bres disponen del grado de iniciativa y de inteligencia que son necesarias para el paso de los principios generales a las aplicaciones particulares, de modo que la especialización en la Universidad y en las escuelas técnicas es necesaria para muchos de sus alumnos, y constituye el único modo de aprovechar la totalidad del potencial humano de los estudiantes de una nación.

Las modificaciones que actualmente se van introduciendo en los planes de estudio de los ingenieros químicos en América se ajustan cada día más a esta idea de aumentar los conocimientos básicos y disminuir los esfuerzos dedicados a una especialización de sus aplicaciones. Una forma radical de esta evolución la representa la creación de la llamada «Ingeniería científica» en tres de las escuelas más importantes de Ingeniería de Norteamérica; los estudios se limitan a las matemáticas y principios fundamentales de la Física y de la Química, excluyendo todas las asignaturas de carácter técnico. Los alumnos adquieren conocimientos básicos profundos que les permiten, si así lo desean, especializarse en alguna técnica durante el período de formación postgraduada.

INGENIERIA QUIMICA Y LA INDUSTRIA FARMACEUTICA

Permitidme que, después de exponer el tema fundamental de este discurso, presentando la historia y la evolución, hasta el estado presente, de la ciencia que llamamos Ingeniería Química, a cuya enseñanza y propagación he dedicado los mejores años de mi vida, insista sobre el tema explicando un ejemplo farmacéutico.

La mayoría de los que me escucháis sois farmacéuticos, y es lógico ahora que os preguntéis cómo la Ingeniería Química puede intervenir y ayudar a la industria farmacéutica, ya que está en el ánimo de todos que la preparación en masa de productos de utilidad farmacéutica no difiere de la de cualquier otro producto de la gran industria química, y, naturalmente, en ella ha de intervenir la Ingeniería Química. Los antibióticos constituyen una industria típicamente farmacéu-

tica, comparable, por su complejidad, y por las cantidades de primeras materias y de disolventes que maneja, a la gran industria química, y tampoco en esta industria sorprende ver aplicados los conocimientos de la Ingeniería Química a los problemas de transporte de fluidos, extracción, filtración, transmisión de calor, etc., además de los que podríamos llamar de la «Ingeniería biológica», que pronto tendrá que constituir una rama de la Ingeniería, a juzgar por las actuales publicaciones e investigaciones, cuya potencia parece anunciar el nacimiento de esta nueva ciencia.

Sin embargo, la misión de la Ingeniería Química va más allá de las grandes instalaciones y de las producciones en masa. Voy a desarrollar el ejemplo de una operación que podríamos llamar modesta, que me permitirá demostrar esta afirmación, y al mismo tiempo me brindará la ocasión de insistir sobre los conocimientos básicos que considero propios de la Ingeniería Química, y sobre su utilidad en la industria farmacéutica. Voy a entretener vuestra atención por unos momentos sobre el problema de la granulación o producción de material de granos pequeños, que estos últimos años ha avanzado considerablemente, a causa de haber llegado a interesar a la gran industria química y, por tanto, a los ingenieros e investigadores que para ella trabajan. En efecto, hoy se granulan grandes masas de abonos químicos, y la granulación es necesaria, no sólo en la industria farmacéutica, sino a la metalurgia de polvos, a la industria cerámica, del cemento, de los plásticos, del caucho, etc. No es preciso insistir desde esta tribuna en la necesidad de granular, como operación previa para la fabricación de tabletas, comprimidos, *pellets*, etc. A pesar de esta importancia, tenemos que admitir que aún hoy la granulación es un arte más que una ciencia, que la labor de investigación en este dominio es muy incompleta, y que tiene por delante mucho trabajo a realizar. Sin embargo, los conocimientos que hoy tenemos tienen bases científicas bastantes estudiadas, y de ellas voy a ocuparme un momento.

La aglomeración de partículas de polvo se realiza por fuerzas que tienen su origen en los átomos y moléculas su-

periciales, cuya posición en el complejo cristalino les comunica propiedades nuevas y difíciles de reconocer a primera vista, porque representan siempre una mínima fracción de la masa interior, que es prácticamente la total. Un átomo situado en la superficie no puede tener sus valencias saturadas como las del interior, que en todas direcciones se hallan rodeados de otros, y entre los primeros y los segundos pueden presumirse diferencias tan grandes como existen entre las moléculas saturadas y los radicales libres. Por otra parte, las singularidades de los átomos superficiales dependen de la naturaleza de la red cristalina. En los cristales iónicos, como los del cloruro sódico, los átomos superficiales son también iones, y la acción sobre los átomos de otra superficie próxima es de origen electrostático. Las redes homopolares deben su cohesión y estabilidad a la valencia creada entre dos átomos que comparten algunos de sus electrones. En las redes moleculares, la unión entre las moléculas que las forman, cada una de ellas estable y con las valencias saturadas, se produce gracias a fuerzas de Van der Waals, que, como es sabido, son débiles y de corto alcance. Finalmente, la red característica de los metales está constituida por iones metálicos, entre los cuales circula una atmósfera electrónica, cuyo origen está en el mismo metal, algunos de cuyos electrones son segregados, y disfrutan de libertad sólo condicionada por las acciones electrostáticas entre su propia carga y la creada en los átomos de los cuales se liberaron.

En el límite o superficie de un cuerpo existen, pues, átomos, iones o moléculas con capacidad para unirse a las de otras superficies si llegan a aproximarse a las distancias a que las fuerzas de valencia son eficaces, y la adherencia creada así puede ser muy elevada.

Por ejemplo, un pan de oro se adhiere al vidrio con fuerzas del orden de 3.000 kilogramos por centímetro cuadrado; dos placas de vidrio ópticamente planas y perfectamente limpias se adhieren poderosamente. El hecho es general, y si no se observa con más frecuencia es debido, en primer lugar, a la dificultad de que las superficies sean suficientemente planas y lisas para que el contacto no se

limite a puntos aislados, que sólo pueden crear fuerzas débiles por unidad de superficie, y, por otra parte, a la adsorción de gases o líquidos, rápida y difícil de evitar en cuanto se forma una superficie, que impide el contacto directo entre las partículas. Por estos motivos, la granulación y la adherencia de partículas están enormemente favorecidas por la presión. Por otra parte, la plasticidad de los cristales, en cuyo conocimiento hemos avanzado considerablemente a lo largo de estos últimos años, permite a la presión deformar las partículas disminuyendo los espacios vacíos entre ellas, aumentando los contactos y, por lo mismo, la adherencia.

Sobre la plasticidad de una sustancia, que depende sólo de su constitución, es imposible intervenir. Sin embargo, es posible añadir otra sustancia plástica que, bajo las fuerzas creadas por la presión, origine puentes sólidos entre las partículas y facilite el granulado.

Muy importante para la granulación es el tamaño de las partículas y su grado de heterogeneidad. En general, es necesario que el volumen del espacio vacío entre los granos en el momento de la compresión sea lo más pequeño posible en relación con el volumen total, lo que asegura un mayor número de puntos de contacto. Esto se consigue con la heterogeneidad adecuada del tamaño de los granos, de modo que los espacios grandes entre partículas groseras pueda llenarse con partículas más finas.

El manejo de los materiales granulados tiene la ventaja de que su movimiento pueda ser parecido al de los fluidos. Fluyen por tubos y orificios, como si se tratase de líquidos, especialmente cuando los gránulos tienen un tamaño uniforme y su coeficiente de frotamiento no es muy elevado. La semejanza entre verdaderos fluidos y cuerpos granulados es sólo cualitativa; por la importancia que tiene el flujo de gránulos en las máquinas de comprimir, en las de empaquetar y en las de mezclar y distribuir abonos, etc., en todas las cuales la uniformidad de salida del granulado en cuanto al tiempo, es decir, la permanencia del gasto, tiene importancia esencial, se han hecho algunas investigaciones, y queda mucho por hacer, sobre las variables que intervienen en el

flujo, y se ha visto, por ejemplo, que la altura del material en una tolva apenas influye en el gasto. Por ejemplo, con los *pellets* empleados en el creaqueo del petróleo, el flujo de una tolva cónica puede calcularse por la fórmula

$$F = 22,31 D^{2,96} H^{0,04}$$

(F, flujo en gramos por minuto; D, diámetro del orificio en centímetros; H, altura de producto en centímetros), según la cual la influencia de la altura es muy pequeña si se le compara con la conocida fórmula de Torricelli, que da para los líquidos una velocidad de salida proporcional a la raíz cuadrada de la diferencia de niveles entre el orificio de salida y la superficie del líquido. Con arena se anula prácticamente la influencia de la altura, y la experimentación ha conducido a la fórmula

$$F = 425 A^{1,35}$$

(F, gasto en gramos por minuto; A, área del orificio en centímetros cuadrados), en la que ya no figura como variable la carga de altura.

Sabida la importancia de la granulación y la frecuencia con que hay que realizarla en la industria química y farmacéutica, recordemos alguno de los fines de esta operación básica.

Se granulan previamente todos los productos antes de transformarlos en tabletas, briquetas o comprimidos. La matriz del molde debe llenarse rápidamente con un peso constante de producto, y para ello se precisa que el material fluya con facilidad, porque el peso de cada tableta debe ser constante, y el primer tiempo de la labor realizada por la máquina es la medida por volumen del producto que ha de comprimirse y transformarse en lo que podríamos llamar un grado mayor de granulado con formas geométricas.

La granulación que fluidifica al producto es frecuentemente necesaria aun para sustancias que no han de comprimirse, y se realiza con el objeto de facilitar su manejo y dis-

tribución, evitar las pérdidas y perjuicios ocasionados por el polvo, impedir la segregación de una mezcla, que es probable cuando los productos que la forman son de propiedades, dimensiones y formas distintas, simplificar la operación del empaque, disminuir el volumen, evitar la aglomeración o apelmazamiento, tan frecuente en productos higroscópicos o de temperatura de fusión baja, etc.

Los métodos generales para convertir un polvo fino en un granulado son los siguientes: el material se humedece con agua, otro disolvente o una disolución, y luego se deja secar. El proceso del secado puede producir ya un granulado o masas grandes, que luego hay que desintegrar y cribar.

Si la humidificación del material produce una masa plástica, puede dársele por extrusión una forma adecuada que facilite el secado y la desintegración posterior. El grado de humidificación es esencial. El líquido añadido ha de disolver alguna de las sustancias del producto para que se forme una disolución saturada que llena los intersticios entre los granos y los suelda durante la operación del secado, y cuando esta solubilidad es insuficiente o la disolución carece de propiedades adhesivas, se recurre al empleo de una disolución que las posea, como las de los azúcares, gelatina, gomas, dextrina, almidón, líquido residual de la fabricación de la celulosa al bisulfito, resinas vinílicas, etc.

Si el producto puede briquetarse con facilidad, se comprime en moldes que dan tabletas, barras o briquetas, con el concurso frecuente de lubricantes (aceites, cera, talco, estearatos metálicos, ácido bórico, etc.), que luego se desintegran.

Esta desintegración debe realizarse en molinos y aparatos especialmente adecuados, para que los gránulos resultantes tengan un tamaño lo más uniforme posible y próximo al deseado para el granulado y, al mismo tiempo, eviten la formación excesiva de polvo fino que después del tamizado queda como producto con el que hay que repetir todas las operaciones necesarias para la granulación.

Por fusión puede también llegarse a masas compactas apropiadas para la desintegración posterior. Este método es

especialmente útil cuando la mezcla que quiere granularse contiene algún componente de punto de fusión bajo, o que funda en su agua de cristalización, como se realiza en las conocidas sales efervescentes. Otras veces, la masa fundida se solidifica en capas delgadas sobre rodillos enfriados, con lo cual se obtienen láminas, que luego se arrancan y se parten, formando las llamadas escamas, popularizadas con el jabón y con la sosa cáustica.

Modernamente se ha introducido en la técnica de los granulados la llamada «esferonización» por la forma esférica que presentan los gránulos así obtenidos, cuya fluidización es la más perfecta de cuantos granulados se conocen. El método se reduce a mantener el polvo fino en movimiento turbulento, sin adición de adhesivos, que las aglomera gradualmente en esferas casi perfectas y de tamaño muy uniforme. Los resultados obtenidos por este procedimiento, que no es aplicable a todas las sustancias, en algunos casos pueden lograrse introduciendo en chorro fino la disolución viscosa de la sustancia en un líquido agitado energicamente que no la disuelva y que extraiga a su disolvente de modo que las gotas formadas por dispersión se solidifiquen y pierdan toda posibilidad de aglomeración posterior.

La cristalización puede realizarse en algunos aparatos de modo que los cristales tengan oportunidad de crecer aislados y en todas direcciones, en forma más o menos redondeada y tamaño uniforme.

La misma forma redondeada y con uniformidad de tamaño adquieren muchas de las sustancias que se desecan rápidamente por pulverización en una corriente de aire o de un gas inerte, método de desecación hoy muy empleado para sustancias termolábiles, que da inevitablemente un granulado fino, y muy distante del ideal.

Termino aquí esta resumida lección sobre la granulación, con la esperanza de haber alcanzado los dos objetivos propuestos: aclarar con un ejemplo el contenido de la Ingeniería Química y, al mismo tiempo, demostrar que la industria farmacéutica, aun en lo más específico de su trabajo, no puede prescindir de esta nueva rama de la Ciencia Aplicada.

CARACTERISTICAS DE LA INDUSTRIA FARMACEUTICA

Nos volvemos a preguntar ahora qué interés general para la Química Farmacéutica puede tener la Ingeniería Química, que fue creada para la industria química pesada, al parecer, desligada completamente de la Farmacia. Antes de intentar una contestación a esta pregunta, creemos necesario detenernos un momento en definir las características más esenciales de la industria farmacéutica. Empecemos por recordar que, en el cuadro general de las industrias, la industria química está caracterizada por un mínimo en la relación entre el costo de la mano de obra y el valor de la producción, lo que, evidentemente, por hoy y en España en particular, está muy alejado de la realidad farmacéutica. Por tanto, podemos afirmar que, dentro de la industria química, la farmacéutica se caracteriza porque en el coste de la producción interviene el de la mano de obra de un modo notable. Esta desventaja constituye una preocupación constante de nuestros industriales farmacéuticos en esta época del automatismo, de la productividad y de la elevación de los salarios, y es evidente que el porvenir de nuestra industria farmacéutica está estrechamente ligado al modo y a la rapidez con que sea superada esta desventaja.

Otra característica de la industria farmacéutica es la fabricación en escala mediana y pequeña de productos. (Productos químicos de aplicación farmacéutica y no lo que hemos dado en llamar «especialidades»). La escala de laboratorio aún se practica y debe ser rentable para algunos productos. En cambio, hemos visto fabricar aspirina por toneladas. Además, debe tenerse en cuenta que algunos cuerpos, cuya producción diaria se mide por kilogramos, exigen artificios de fabricación que, por sus dimensiones, son comparables a los de la gran industria, como, por ejemplo, los antibióticos, la extracción de ciertos alcaloides, vitaminas y hormonas, etc.

Desde el punto de vista económico, esto constituye una

desventaja que sólo podría vencerse separando la industria preparativa de productos farmacéuticos, que podrían concentrarse en grandes empresas, de la que prepara las especialidades. Deseo hacer constar que no pretendo brindar esta idea a la industria farmacéutica española, porque estoy convencido de que ha de constituir durante muchos años una simple especulación, sin ninguna utilidad inmediata.

El factor que más intensamente contribuye a elevar la relación entre la mano de obra y el precio de costo, lo constituyen las operaciones de envasado, la preparación por pequeñas partidas de las mezclas y disoluciones y su esterilización. Algunas de ellas pueden automatizarse en producción continua, con éxito, que depende muchas veces de los suministros de ampollas, cartonajes, etc., cuya uniformidad y estrechos límites de tolerancia en las dimensiones es fundamental para el buen funcionamiento de las máquinas. El rigor que se exige para la esterilidad y pureza óptica hace más difícil el automatismo de las operaciones relativas.

Por otra parte, el carácter casi puramente mecánico de las operaciones que más influyen en el precio de coste y que sólo necesitan el concurso de la Química para controlar, si se hace, las primeras materias mediante su análisis, es una de las causas por las que, especialmente en nuestro país, se han multiplicado hasta la atomización los llamados «laboratorios farmacéuticos», y con ello, el aumento continuo de los específicos o especialidades. Existen hoy en España unos 1.200 laboratorios farmacéuticos, que emplean 35.000 personas para producir alrededor de las 20.000 a 30.000 especialidades registradas, número que representa el doble de las explotadas en Alemania y Francia juntas. Sería interesante averiguar cuántas de estas especialidades con sus nombres registrados obedecen a una idea original, y cuántas son meras copias por la fórmula, y a veces, por el envase, de otros específicos que, en su tiempo, tuvieron o prometían un éxito terapéutico, y que hoy, con un criterio clínico riguroso, deberían desaparecer del mercado. El Seguro Médico, con sus listas, podía haber contribuido a esta selección, si no hubiese pesado sobre él un criterio excesivamente economi-

co que, a la larga, ha de empeorar las condiciones básicas de la economía en la industria farmacéutica española.

También el régimen de patentes y marcas, que en España exige con urgencia una revisión profunda, ha contribuido a la proliferación de específicos, ya que si defiende, aunque sea medianamente, las operaciones químicas, deja indefensas las ideas originales que existen en muchos preparados terapéuticos y la investigación que permitió crearlos.

Otra característica de la industria farmacéutica, desfavorable también a su régimen económico, es la vida corta de muchos de sus productos, que, con frecuencia, son superados por otros antes de que se hayan podido realizar los trámites necesarios para su puesta en el mercado. El farmacéutico debe seguir al día lo que se escribe en el mundo entero, discriminar entre la pura propaganda y la realidad clínica, entre lo logrado y lo que son sólo esperanzas, para evitar el esfuerzo perdido que representan los específicos invendibles o ineficaces.

La más brillante característica de la industria farmacéutica es la importancia esencial que en ella desempeña la investigación. Sobre el papel de la investigación en el desarrollo de todas las industrias y, en general, en el rápido desenvolvimiento de la Humanidad de nuestros tiempos, han hablado y escrito personas de tan alta autoridad, y es tan difícil decir algo que en este dominio amplísimo sea original e interesante que yo me creo obligado a no distraer vuestra atención sobre este tema. Pero no puedo evitar que, al describir las características de la industria farmacéutica, me detenga un momento en lo que la Farmacia de hoy debe todo su prestigio y su eficacia. Los resultados de la investigación farmacéutica, además de su utilidad, son espectaculares, porque afectan a nuestra salud, a la vida y a la muerte de los hombres, de tal suerte que es fácil darse cuenta del grado en que influye en nuestro bienestar y prosperidad, en tal forma que hoy nadie dejará de reconocer que podríamos prescindir mejor de grandes invenciones modernas, ciencia nuclear, electrónica, radio, etc., que de los antibióticos, por ejemplo.

La investigación farmacéutica se realiza actualmente en una escala económica prodigiosa, en su principal parte financiada por las empresas farmacéuticas, y para problemas que se estiman difíciles de resolver, y de trascendental importancia, como es el del cáncer, con aportaciones estatales muy elevadas. Según E. Wolwiler, de *los Abbott Laboratories International Co.*, la industria farmacéutica americana gastará este año en investigación 200 millones de dólares, lo que representa del 5 al 8 por 100 del importe de las ventas de las grandes empresas farmacéuticas de los Estados Unidos. Durante el año 1958, estas empresas investigaron unos 115.000 productos, de los cuales sólo 1.900 llegaron a la fase de ensayo clínico, y de entre ellos surgieron de 20 a 30 drogas nuevas, cuyo éxito comercial, que exige su empleo durante unos años, sólo es de esperar para un número muy limitado de ellas. Gracias a este enorme esfuerzo, realizado con probabilidades de éxito muy pequeñas, el Dr. Wolwiler cree que para 1963 los investigadores de drogas llegarán a obtener un agente hipotensor y un energético psíquico más eficaces que los actuales, un medicamento para el cáncer y un agente efectivo contra los organismos Gram-negativos.

En Europa, donde primero se reconoció la importancia de la investigación, sigue dedicándose a ella un esfuerzo enorme. Lémos hace poco que en Alemania la Badische Anilin und Soda Fabrik emplea en la investigación el 5 por roo del importe bruto de sus ventas, y esta inversión la justifica por el hecho de que casi ningún procedimiento de fabricación de la industria química se desarrolla en 1959 del mismo modo que en 1954, es decir, que, en cinco años, gracias a la investigación constante, los procesos de producción han sido modificados sustancialmente, mejorando las condiciones económicas de los mismos.

En los Estados Unidos, el esfuerzo de la investigación farmacéutica que realizan, como hemos visto, las grandes empresas dedicadas a esta industria, está complementado financieramente por el Estado. En los presupuestos norteamericanos para el período 1959 a 1960 han sido aprobadas las subvenciones siguientes para la investigación médico-farma-

cética: Generales y servicios, 46 millones de dólares; Estudios sobre el cáncer, 91 millones; Enfermedades del corazón, 62 millones; Salud mental, 69 millones; Estomatología, la millones; Enfermedades artríticas y metabólicas, 47 millones; Enfermedades alérgicas e infecciosas, 34 millones, y Neurología y Ceguera, 41 millones de dólares. La mayor parte de estas subvenciones irán a parar a las Universidades, como ayuda a la investigación universitaria.

Para terminar rápidamente esas consideraciones sobre la importancia de la investigación, nos limitaremos a unas preguntas: ¿Qué porcentaje de sus ventas dedica la industria farmacéutica española a la investigación? ¿Se investigan realmente los nuevos específicos que van apareciendo en nuestro mercado? ¿Analizan todos los laboratorios las primeras materias con que los preparan? Recuérdese que hubo necesidad de ensayar 606 preparados antes de llegar al Salvarsan, que esto se hizo en la primera década de este siglo, y que estamos ahora al final de la sexta. Recordemos también que, siendo indispensable la investigación, a la postre hay que hacerla, o pagarla a los que la hacen.

Para terminar esta larga conferencia, en la que seguramente estoy al borde de agotar vuestra paciente benevolencia, he de referirme a lo que en España se ha hecho en el dominio de la enseñanza para los futuros técnicos de nuestra industria química. Sería negar la evidencia si desconociésemos que hoy la enseñanza de Ingeniería Química se da en todas las Universidades españolas, que disponemos de un equipo de profesores de esta materia tan competentes como pueden serlo los de otros países científica y técnicamente mucho más adelantados que el nuestro, que en España se publican regularmente trabajos de investigación en el dominio de la Ingeniería Química, y que muchos de nuestros graduados trabajan eficazmente en la industria química, y que a ellos se deben las múltiples improvisaciones que en los años que acabamos de pasar exigieron nuestro aislamiento y la limitación de nuestros recursos económicos, y gracias a los cuales fue posible disponer de productos nuevos, hoy indispensables para la vida de la sociedad, y crearon

una legión de químicos con una experiencia industrial lograda duramente en circunstancias muy adversas.

En todas las universidades, menos en la de Madrid, la Ingeniería Química está en manos de un solo profesor. En Madrid, la creación del doctorado industrial permitió dotar las cátedras de Física Industrial, Química Industrial, Físico-Química de los Procesos Industriales y Metalurgia, regentadas por personas de la más alta competencia en su especialidad, y cuya juventud permite esperar que se desenvuelvan con entusiasmo, impulsando nuestra enseñanza técnica con la velocidad que la urgencia de nuestras necesidades exige.

En esta Facultad de Ciencias, los planes de estudio han experimentado recientemente modificaciones esenciales que abren un amplio cauce a las futuras necesidades. Dentro de la licenciatura se han creado especializaciones, y la industrial se desarrolla con el concurso de las cátedras creadas para el doctorado industrial, de suerte que este grado universitario y la tesis doctoral que lo otorga se consiguen en menos tiempo y con más perfección. Los doctores en Química Industrial han tenido mucha aceptación en la industria, y la experiencia demuestra hasta qué punto la Universidad es capaz de formar los técnicos que exige el desarrollo industrial de la Química.

Uno de los proyectos realizados por los doctores en Química Industrial ha sido el de una Fábrica Experimental Universitaria, cuyo edificio está ahora espléndidamente construido. Falta sólo instalar en él los servicios indispensables para su funcionamiento, y cuando sea una realidad completa, nuestros licenciados y doctores podrán salir de la Universidad habiendo manejado instalaciones industriales, y, por otra parte, la industria química española dispondrá de medios para ensayar en escala suficientemente grande nuevos procesos y perfeccionar los viejos con la ayuda de la investigación realizada por nuestros postgraduados, y bajo la dirección de un profesorado altamente capacitado. Sur-

girá entonces en los terrenos de la Ciudad Universitaria un Instituto de Química Industrial, que hermanará la Universidad española con nuestra industria química, con la fuerza necesaria para elevar el rango industrial de nuestro país a la altura que nuestro porvenir económico exige.

He dicho.