

EL AVANCE DE LA INGENIERÍA QUÍMICA

OBJETIVOS

Se efectúa, en primer lugar, un breve recorrido histórico de la evolución de la industria química, desde la aparición de los seres humanos hasta la actualidad, particularizando sobre España durante el último siglo. Asimismo se estudia la aparición de la Ingeniería Química como disciplina, analizando los diferentes aspectos que han permitido la racionalización de los procesos químicos; se estudia la evolución en España de esta disciplina.

Seguidamente se lleva a cabo una prospectiva sobre el posible futuro de la Ingeniería Química, tanto en cuanto a los procesos y a los productos, como a las herramientas que tiene a su alcance esta disciplina para afrontar los nuevos retos, sin olvidar los procesos químicos actuales.

CONOCIMIENTOS PREVIOS NECESARIOS

Ninguno, en particular.

ÍNDICE

Evolución histórica de la industria química	3
La industria química en España	6
Los procesos químicos actuales	7
Racionalización de la industria química: la Ingeniería Química	10
La Ingeniería Química en España	14
Nuevas tendencias de la Ingeniería Química	15

BIBLIOGRAFÍA

- **Calleja, G. y otros;** *“Introducción a la Ingeniería Química”*, Ed. Síntesis, Madrid (1999).
- **Coca, J.;** *“Cien años de Ingeniería Química”*, Ingeniería Química, **256 (Julio)**, 101-3 (1990).
- **Costa, J. y otros;** *“Curso de Ingeniería Química”*, Ed. Reverté, Barcelona (2000).
- **Pafko, W.;** *“History of Chemical Engineering”*, v2.0, <http://www.pafko.com/history/index.html> (2000).
- **Tapias, H.;** *“Ingeniería Química: Escenario futuro y dos nuevos paradigmas”*, Ingeniería Química, **359 (Julio)**, 179-86 (1999).
- **Vian, A.;** *“Boceto histórico de la industria química”*, en “La industria química en el siglo XXI. Desarrollo sostenible y compromiso de progreso”, Federación Empresarial de la Industria Química, Madrid (1999).

Este texto es un capítulo del libro:

Jarabo, F. y García, F.J.; *“Conceptos de Ingeniería Química”*, ARTE Comunicación Visual, Santa Cruz de Tenerife (2003).

Evolución histórica de la industria química

El ser humano tiene que satisfacer un conjunto de necesidades materiales, lo que realiza utilizando, transformando y consumiendo los productos de los que dispone en su entorno. La industria que se ocupa de transformar químicamente materias primas o productos iniciales, frecuentemente de origen natural, en otros productos de mayor interés, valor añadido y utilidad es la llamada **industria química**.

Se sabe de la existencia de procesos relacionados con lo que hoy se conoce como industria química desde el uso del fuego, que hizo posible aplicar esta fuente de energía de modo controlado a diversos productos naturales para obtener productos elaborados, no existentes previamente en la naturaleza. Se trata de la cocción cerámica, la preparación de pigmentos, la obtención de vidrio y metales (bronce, hierro) y algunas formas de conservación de alimentos (ahumado, secado, salado) y otras materias orgánicas (curtido de pieles).

El carácter artesanal, así como el empirismo para introducir modificaciones, determinan que estas incipientes operaciones de procesado no puedan considerarse aún como actividades propias de una industria química, aunque sí una base que se fue perfeccionando muy lentamente a lo largo de los siglos, principalmente debido al movimiento alquimista, que perduró hasta el siglo XIV con más o menos fuerza, mezclando reflexiones filosóficas con ensayos para alterar y mejorar las propiedades de las sustancias. Pese a su ocultismo, los alquimistas intentaron relacionar ciencia y tecnología, experimentando al azar con destiladores, cristalizadores, evaporadores u hornos.

La Revolución Industrial, iniciada en Gran Bretaña en el siglo XVIII, produjo una serie de fenómenos de industrialización y comercialización acelerados, motivados fundamentalmente por la invención y el desarrollo de la máquina de vapor. La aparición y crecimiento de un gran número de industrias manufactureras, principalmente textil, papel, jabón y vidrio, requirió disponer de ciertos productos químicos básicos (ácidos y álcalis fuertes) en unas cantidades tan elevadas que la naturaleza no podía suministrar.

Los procesos que tuvieron mayor relevancia durante estos años, por su carácter innovador, fueron:

- Obtención de ácido sulfúrico por el método de las cámaras de plomo (Roerbruck, 1749): mezclando dióxido de azufre, aire, agua y un nitrato (potásico, sódico o cálcico) en un gran recipiente de plomo, se produce ácido sulfúrico.
- Obtención de carbonato sódico mediante el proceso Leblanc (Leblanc, 1789): tratando cloruro sódico con ácido sulfúrico se obtiene sulfato sódico (y ácido clorhídrico como subproducto), que se reduce con carbón a sulfuro sódico que, tratado con carbonato cálcico produce carbonato sódico.

Pero es en el siglo XIX cuando, gracias al establecimiento de las leyes químicas, se producen los mayores avances en la industria química, descubriéndose nuevos procesos y productos (colorantes artificiales, neumáticos, productos farmacéuticos, explosivos, plásticos). Valga como ejemplo que los dos procesos mencionados fueron desplazados por otros nuevos, que siguen utilizándose en la actualidad:

- Obtención de ácido sulfúrico por el método de contacto (Phillips, 1870): oxidación de piritita o azufre para obtener dióxido de azufre, que se transforma en trióxido de azufre por oxidación catalítica heterogénea y se absorbe en el propio ácido sulfúrico, que se diluye posteriormente hasta la concentración deseada.
- Obtención de carbonato sódico mediante el proceso Solvay (Solvay, 1863): esquema de reacciones entre el carbonato cálcico y el cloruro sódico en el que intervienen los bicarbonatos amónico y sódico en una columna de platos en operación continua.

A finales del siglo XIX, el crecimiento y la diversificación de la industria química fue especialmente importante en Europa; a principios del siglo XX, Alemania iba unos cincuenta años por delante de los EE.UU. El proceso Haber-Bosch para la síntesis de amoníaco por combinación directa de nitrógeno e hidrógeno a altas presiones y temperaturas fue desarrollado por BASF (**B**adische **A**nilin und **S**oda **F**abrik) en 1913. Sin embargo, la I Guerra Mundial obliga a EE.UU. a desarrollar sus propias plantas de amoníaco para producir explosivos (y fertilizantes), lo que no sólo les ayuda a ganar la guerra, sino también a ponerse a la cabeza de la industria química mundial. En los

años de la postguerra la compañía Standard Oil of New Jersey (posteriormente ESSO) tuvo que desarrollar el craqueo térmico (Burton y Humphries, 1919) para dar respuesta a la gran demanda de gasolina que provocó la producción en serie de automóviles por Ford.

La II Guerra Mundial tuvo un efecto parecido: los EE.UU. se vieron privados de sus fuentes de caucho natural, por lo que se produjo el desarrollo del proceso de producción de caucho artificial. Asimismo, las necesidades de elevadas cantidades de gasolina de alto octanaje para aviones de combate impulsó el desarrollo del reformado catalítico por la Standard Oil Company of Indiana (1940), que también permitió obtener tolueno para la fabricación de TNT (trinitrotolueno). Los aviones aliados pudieron así competir con éxito contra los aparatos alemanes y japoneses. Por otro lado, la economía de guerra permitió en Alemania el desarrollo del proceso de obtención de hidrocarburos combustibles a partir de carbón y de gas natural (síntesis de Fischer-Tropsch), ya que el bloqueo aliado no permitía la llegada de petróleo a las refinerías alemanas.

Después de la II Guerra Mundial se desarrolla vigorosamente la Petroleoquímica, no sólo bajo el punto de vista de la obtención de combustibles, sino también en la producción, no menos importante, de plásticos y productos químicos finos (productos de rigurosas especificaciones usados en alimentación, higiene o farmacia). Además la industria química alemana se ha vuelto a recuperar y compite al mismo nivel con la estadounidense: tres de las cuatro empresas químicas más importantes del mundo son alemanas, BASF, Bayer y Hoechst; Du Pont es norteamericana.

A principios del siglo XXI la industria química presenta características de desarrollo tecnológico propias de haber alcanzado la madurez, disponiéndose de los materiales y de los equipos idóneos para satisfacer la gama más variada de condiciones y necesidades. Puede afirmarse que esta evolución tecnológica se ha acelerado en el último tercio del siglo XX debido a dos condicionantes externos a la propia industria química: la crisis energética y el deterioro del medio ambiente. Estas situaciones han obligado a adaptar los procesos de fabricación de tal forma que se consiga el máximo aprovechamiento de la energía utilizando materias primas, cuya explotación ocasione el menor impacto ambiental posible en procesos que generen la

mínima cantidad posible de residuos, todo ello manteniendo la viabilidad económica del proceso global.

La industria química en España

Aunque en España son abundantes algunas de las materias primas utilizadas por la industria química (pirita, sal común, silvinita), diversas circunstancias históricas han hecho que la industria química no encontrase un clima adecuado para su desarrollo. La incorporación tardía del país al movimiento social que supuso la Revolución industrial puede interpretarse fundamentalmente por la invasión napoleónica, la inestabilidad política durante todo el siglo XIX, la liquidación de un vasto imperio colonial y, lo que es más importante, el cultivo insuficiente de las ciencias básicas y aplicadas.

Aunque se dispone de datos sobre una primera fábrica de papel (Tolosa, 1842) y un primer horno alto (Trubia, 1848), no es hasta 1872 cuando se constituye en Bilbao la Sociedad Española de la Dinamita, para fabricar explosivos, hecho que puede considerarse como el nacimiento de la industria química española moderna.

Si bien a principios del siglo XX ya se contaba con más de una docena de empresas químicas, se produce una fase de estancamiento económico coincidiendo con la gran recesión económica de 1928, que produce secuelas hasta ya finalizada la Guerra Civil Española. Si bien en 1930 se instala la primera refinería de petróleo de la Compañía Española de Petróleos, S.A. (CEPSA) en Tenerife, no es hasta 1939 cuando se constituye la Unión Química del Norte de España, S.A. (UNQUINESA) para obtener fenol y metanol a partir de alquitranes, comenzando un período de fabricación de productos intermedios fundamentales, que hasta entonces se habían importado.

La industria química española no vuelve a experimentar un impulso hasta la entrada en vigor de los Planes de Desarrollo (1964), por los que se crean los “polos de desarrollo” de Huelva, Tarragona y Puertollano, entre otros, principalmente dedicados a la industria Petroleoquímica. Esta iniciativa permitió recuperar a la industria química española parte de su retraso respecto a los países más industrializados, pero muy dependiente del petróleo como materia prima y como fuente de energía. Ello fue la

causa de que los efectos de la crisis energética mundial (1973) provocara la crisis de la industria química española entre 1975 y 1981.

A partir de 1981 se inicia una nueva etapa de crecimiento mediante la puesta en marcha de ampliaciones y mejoras de procesos, así como mediante la construcción de nuevas plantas de tamaño pequeño. Se consiguió superar la crisis racionalizando los procesos productivos: se introdujeron mejoras significativas en los rendimientos energéticos y se adoptaron medidas destinadas a reducir el impacto ambiental. En la última década del siglo XX se vuelve a producir una crisis de inversión y producción, provocada por la globalización de los mercados, sumida en la cual España afronta el siglo XXI sabiendo que el futuro de su industria química estará ligado al de la Unión Europea, siendo necesario favorecer innovaciones tecnológicas que permitan mejorar la competitividad de las empresas para adaptarse a las nuevas reglas del mercado.

Los procesos químicos actuales

La industria química actual se dedica a obtener importantes cantidades de productos químicos de interés comercial a partir de un conjunto de materias primas mediante **procesos químicos** o conjunto de operaciones que permiten dicha transformación. Bajo el punto de vista comercial, estos procesos los llevan a cabo las **empresas químicas**, unidades económicas de producción y distribución de los productos fabricados en **plantas químicas**, unidades de la empresa dedicadas específicamente a la producción.

Cualquier proceso químico ha de diseñarse sobre la base de diversos factores que generalmente determinan la localización geográfica de la planta química:

- Posibilidad comercial del producto: Capacidad de producción.
- Disponibilidad y coste de materias primas: Selección de la fuente de suministro.
- Tecnología disponible: Elección del procedimiento.
- Servicios auxiliares necesarios: Combustibles, electricidad, agua, vapor.
- Consideraciones socio-económicas: Disponibilidad y coste de la mano de obra, coste del terreno, incentivos económicos.
- Consideraciones ambientales: Normativa legal, mercado de subproductos.

Por otra parte, la industria química moderna se caracteriza por los siguientes aspectos:

- Elevada inversión en investigación y desarrollo (I+D) de nuevos productos.
- Reducción del intervalo de tiempo comprendido entre la aparición de un nuevo producto y su fabricación industrial.
- Gran cantidad de capital necesario para la construcción y puesta en marcha de una planta industrial.
- Creciente automatización de los procesos.
- Disminución progresiva de la mano de obra necesaria, debido a la automatización.
- Aumento de la fracción de capital invertido en ahorro de energía y depuración.
- Tendencia a la integración vertical de la actividad empresarial (obtención de toda una gama de productos, desde los más básicos hasta los más transformados), para absorber las fluctuaciones en la demanda de productos.

En cuanto a los productos químicos que se fabrican, éstos suelen clasificarse según su empleo en los siguientes grupos:

- **Productos básicos** (*commodities*): son aquéllos de gran volumen de producción y coste reducido obtenidos a partir de las materias primas naturales, utilizándose cada uno de ellos en la fabricación de un gran número de otros más elaborados (ácido sulfúrico, amoníaco, etileno).
- **Productos intermedios** (*pseudocommodities*): son aquéllos de gran volumen de producción que se obtienen a partir de materias primas o de productos básicos, utilizándose cada uno de ellos en la fabricación de unos pocos productos más elaborados (fenol, cloruro de vinilo).
- **Productos de química fina** (*fine chemicals*): son aquellos productos intermedios de elevada pureza y especificaciones rigurosas, obtenidos en cantidades moderadas, y que se emplean en la fabricación de aditivos, fármacos o reactivos (aminoácidos, vitaminas).
- **Especialidades** (*specialties*): son aquellos productos que tienen las características deseada (incluido su envasado) para su utilización final y que se fabrican

en menor escala pero en un gran número, siendo su valor añadido muy elevado (insecticidas, detergentes, desodorantes, ambientadores).

Algunos importantes procesos químicos actuales			
Fuente	Materia prima	Industrias y productos básicos	Utilización
Atmósfera	Aire	Destilación: nitrógeno, oxígeno	Atmósferas inertes Combustiones
Hidrosfera	Agua dulce	Electrólisis: hidrógeno	Hidrogenaciones
	Agua de mar	Evaporación: cloruro sódico Proceso Solvay: carbonato sódico Electrólisis húmeda: cloro, sosa cáustica Electrólisis seca: cloro, sodio	Álcalis Vidrio Cloraciones
		Bromo	Diversos usos
Litosfera	Sílice	Industria del vidrio	Construcción Óptica
	Arcilla	Industria cerámica	Construcción
	Caliza	Horno de cal: óxido cálcico, hidróxido cálcico	Álcalis
		Industria del cemento	Aglomerante
	Yeso	Industria del yeso	Aglomerante
	Azufre y sulfuros metálicos	Industria metalúrgica	Diversos usos
		Tostación: ácido sulfúrico	Abonos
	Rocas fosfáticas	Ácido fosfórico, fosfato potásico	Abonos
	Sales potásicas	Cloruro potásico, nitrato potásico	Abonos
	Carbón	Carboquímica	Prod. farmacéuticos Colorantes, perfumes Plásticos, cauchos Droguería
Petróleo	Petroleoquímica	Abonos, explosivos Disolventes, pinturas	
Biosfera	Vegetales	Almidón, sacarosa	Alimentación
		Látex, caucho, aguarrás	Neumáticos Pinturas
		Celulosa, rayón, industria papelera	Papel Vestido
	Algas, agar-agar	Alimentación	
	Animales	Leche, lana, huesos, piel	Diversos usos
Grasas, alcoholes grasos		Jabones Alimentación	

Racionalización de la industria química: la Ingeniería Química

La Ingeniería Química como disciplina surge a finales del siglo XIX ante la necesidad de un conocimiento para racionalizar la fabricación de productos químicos y como reconocimiento de la ausencia, tanto en la Química Industrial como en la Ingeniería Mecánica, de un patrón de análisis y solución de ciertos problemas tecnológicos de las industrias químicas. Por tanto, es evidente que el desarrollo de la Ingeniería Química ha corrido paralelo con la evolución de la industria química.

La Ingeniería Química tiene orígenes europeos. En el año 1887, George E. Davis sintetiza su experiencia en un curso de doce lecciones sobre Ingeniería Química que presentó en la Manchester Technical School. En EE.UU., país muy receptivo en esa época a las nuevas ideas procedentes de Europa, Lewis M. Norton, del Massachusetts Institute of Technology (MIT), establece los primeros estudios de Ingeniería Química en 1888. La idea se expandió rápidamente por otras universidades y unos años después se impartía esta disciplina en Pennsylvania (1892), Tulane (1894) y Michigan (1898).

Paradójicamente en Alemania no tuvo lugar esta evolución, a pesar de la gran importancia de su industria química. Quizás porque la industria alemana de colorantes manejaba equipos discontinuos mucho más pequeños que las grandes instalaciones continuas norteamericanas, no se necesitaban ingenieros químicos; su papel era asumido por un químico y un ingeniero mecánico o, a lo sumo, por un denominado “ingeniero de procesos” (“*Verfahrensingenieur*”), una especie de ingeniero mecánico con conocimientos de química industrial. En consecuencia, el ingeniero químico juega un papel fundamental en EE.UU.; en Alemania no aparece hasta alrededor de 1960.

En la primera etapa del desarrollo de la Ingeniería Química, esta disciplina ofrecía principalmente descripciones de las secuencias de operaciones que tenían lugar en los procesos químicos, lo que no permitía la discusión en profundidad de los principios científicos implicados en cada industria.

Hasta que en 1918 Arthur D. Little estableció la primera gran herramienta conceptual sobre la que empezó a construirse la base científica de esta disciplina: la **operación básica** (“unit operation”), es decir, el estudio de las etapas comunes de

muchos procesos industriales. Este concepto constituye la primera aproximación analítica de las industrias químicas como sistemas análogos que comparten unidades de transformación similares, en las que se producen fenómenos cuyo comportamiento general es independiente de la naturaleza específica de las sustancias en proceso.

Después de muchos años de éxito utilizando el modelo de las operaciones básicas, de estudio de estas operaciones separadas de los procesos específicos y de estudio y resolución empírica de los problemas planteados a escala industrial, se consideró que la comprensión de los fundamentos científicos de los procesos de transformación de la materia y las matemáticas podrían ser herramientas muy poderosas para el análisis y estudio de la tecnología de los procesos químicos. Aparece así una corriente de pensamiento que busca explicaciones moleculares para los fenómenos macroscópicos y que establece una segunda gran herramienta conceptual, fundamental para el desarrollo de la Ingeniería Química: los **fenómenos de transporte** (“transport phenomena”), impulsados por Robert B. Bird en 1960. Se ofrecía ahora una lógica distinta para el análisis y estudio de los fenómenos físico-químicos, poniendo más énfasis en la comprensión de los principios físicos básicos que eran ignorados u oscurecidos por los métodos empíricos.

Con este segundo concepto se afina la concepción sistemática de las industrias químicas, en la medida en que descubre que el comportamiento macroscópico de las unidades de transformación emerge del comportamiento molecular de las sustancias en proceso. Todas las operaciones básicas se fundamentan en el transporte de tres propiedades (materia, energía y cantidad de movimiento), entre las que existe una gran analogía que incluso permite su tratamiento unificado.

Así pues, el esfuerzo de organización del conocimiento de la Ingeniería Química como disciplina, traducido en la formulación de los dos conceptos fundamentales, le confieren finalmente la identidad e independencia de sus disciplinas madres: la Química industrial y la Ingeniería mecánica. Ahora ya puede decirse que los ingenieros químicos están involucrados en los procesos químicos que transforman materias primas en productos valiosos. Las habilidades necesarias para lograrlo comprenden todos los aspectos de diseño, prueba, escalado, operación, control y optimización, y requiere un conocimiento detallado de las diferentes operaciones básicas que hacen

posible estas conversiones. Sus fundamentos científicos utilizan el transporte de materia, energía y cantidad de movimiento, junto con la termodinámica y la cinética química para analizar y mejorar estas operaciones básicas.

Superadas las etapas de generalización y abstracción y establecidas las bases científicas de la disciplina, a partir de 1970 la Ingeniería Química comienza su diversificación, como respuesta a nuevas necesidades: tecnología ambiental (ver **Tabla**), energética y alimentaria; polímeros, plásticos, materiales cerámicos y materiales compuestos; dinámica, simulación y control de procesos; economía y estrategia de procesos; etc. Asimismo se llega al final del siglo XX con potentes técnicas de cálculo que permiten establecer y resolver modelos de creciente complejidad. La consolidación del ordenador como herramienta de análisis y diseño ha permitido alcanzar elevados niveles de desarrollo.

Tecnologías de tratamiento de residuos		
Tipo de tratamiento	Contaminante tratado	Operación empleada
<i>Efluentes gaseosos</i>		
Físico	Partículas en suspensión	Sedimentación Centrifugación Filtración
	Olores	Adsorción
Químico	Partículas en suspensión	Lavado
	Óxidos de azufre	Absorción
	Óxidos de nitrógeno	Absorción Reducción catalítica
<i>Aguas residuales</i>		
Previo	Sólidos gruesos	Sedimentación Trituración Cribado
	Aceites y grasas	Sedimentación
Primario	Sólidos en suspensión	Sedimentación Floculación Flotación
	Acidez	Neutralización

Tecnologías de tratamiento de residuos		
Tipo de tratamiento	Contaminante tratado	Operación empleada
Secundario	Materia orgánica	Lagunas de aireación Filtros percoladores Fangos activados Digestión aerobia Digestión anaerobia Microfiltración
	Sólidos en suspensión	Sedimentación Flotación
Terciario	Diversos contaminantes específicos	Sedimentación Filtración Adsorción Intercambio iónico Destilación Ósmosis inversa Electrodialisis Congelación Extracción
Diverso	Diversos contaminantes específicos	Precipitación Oxidación Reducción Desorción
	Desinfección	Cloración Ozonización Irradiación
Residuos sólidos		
Eliminación	Residuos agrarios, urbanos e industriales	Vertido controlado Incineración
Aprovechamiento químico	Residuos agrarios	Compostaje
	Residuos urbanos	Compostaje
	Residuos industriales	Tratamientos específicos
Aprovechamiento energético	Residuos agrarios	Procesos termoquímicos (combustión, gasificación, pirólisis) Procesos bioquímicos (fermentación alcohólica, digestión anaerobia)
	Residuos urbanos	Procesos termoquímicos
Reciclado	Residuos urbanos	Separación selectiva y reutilización

La Ingeniería Química en España

La expansión industrial española tiene lugar con un notable retraso respecto a otros países europeos; de forma paralela, la Ingeniería Química no se introduce como disciplina hasta 1922. Desde entonces, y hasta 1992, en que se estableció el título oficial de Ingeniero Químico, han coexistido en España dos modelos paralelos que han sido adecuados para una industria química de escaso desarrollo tecnológico propio, dedicada a abastecer el mercado interior y con un notable proteccionismo frente a la competencia exterior. Estos dos modelos han sido:

- **Licenciado en Química (Especialidad Industrial)**, por las Facultades de Ciencias o Facultades de Química, considerando la Ingeniería Química como un anexo sobre ingeniería.
- **Ingeniero Industrial (Especialidad Química)**, por las Escuelas Técnicas Superiores de Ingenieros Industriales, considerando la Ingeniería Química como un anexo sobre química.

Es decir, se adoptó el modelo alemán (químico e ingeniero) y con retraso; ni las Facultades ni las Escuelas Técnicas Superiores se llegaron a ajustar totalmente a la concepción del ingeniero químico desarrollada en EE.UU., posteriormente adoptada por otros países. A pesar de ello, en la década de 1980 las enseñanzas impartidas en ambos tipos de centros ya comprendían programas homologables en el ámbito internacional, si bien con ciertas dificultades administrativas: se hacía Ingeniería Química sin existir ingenieros químicos.

En 1987 el gobierno español aborda la reforma de los planes de estudio estableciendo inicialmente unas directrices generales comunes y, posteriormente, unas directrices generales propias para cada título universitario oficial. Ello lleva a la publicación del *Real Decreto 923/1992, de 17 de julio (B.O.E. nº 206, de 27/08/92)*, por el que se establece el título universitario oficial de Ingeniero Químico y la aprobación de las directrices generales propias de los planes de estudio conducentes a la obtención de aquél. Así pues, a comienzos del siglo XXI se dispone, por fin, en España del marco que permitirá impartir los contenidos conceptuales propios de la Ingeniería Química, con un carácter de independencia plenamente consolidado.

Nuevas tendencias de la Ingeniería Química

La confluencia de avances científicos, desafíos tecnológicos y demandas económicas plantean nuevos retos que la Ingeniería Química ha de afrontar.

En el campo de los **procesos**, la industria química debe ser capaz de satisfacer, entre otras, las siguientes necesidades:

- Desarrollo de procesos socialmente aceptables: el aumento de las restricciones ambientales plantea la búsqueda de soluciones para minimizar residuos y contaminantes, reutilizando de forma segura los subproductos actuales.
- Desarrollo de procesos con materias primas alternativas: se hace necesario encontrar nuevas materias primas y poder utilizar aquéllas de menor calidad para paliar el agotamiento o la reducción de calidad de las actuales.
- Diseño de plantas de menor tamaño: es imprescindible buscar la reducción de los costes de construcción de las plantas químicas, utilizando equipos normalizados, modulares y flexibles y resolviendo la economía de escala mediante tamaños mínimos más pequeños.
- Desarrollo de procesos híbridos: incorporar innovaciones tecnológicas que permitan combinar de forma concurrente en un único equipo diversas operaciones (destilación reactiva, membranas catalíticas).

En cuanto a los **productos**, el desarrollo de nuevos materiales y productos con propiedades y usos muy específicos habrá de permitir obtener:

- Productos ambientalmente aceptables: combustibles menos contaminantes, propelentes exentos de fluorocarbonos, polímeros reciclables.
- Materiales avanzados: cerámicas estructurales, materiales compuestos, superconductores.
- Productos químicos especiales: semiconductores específicos, reactivos para diagnóstico, lubricantes sintéticos, catalizadores, polímeros especiales, aditivos, colorantes, fragancias, sabores, drogas.

En cuanto a las nuevas **herramientas** que tiene a su alcance la Ingeniería Química, hay que destacar:

- Instrumentación avanzada: los desarrollos en electrónica han permitido la

utilización en las plantas químicas de instrumentos de medida basados en ultrasonidos, radiación infrarroja o radiación láser para medir numerosas propiedades físicas sin entrar en contacto con el producto.

- Simulación por ordenador: en las plantas de proceso se utiliza cada vez más la simulación dinámica, que permite ajustar en tiempo real la producción en función de variables externas como demanda del producto o precios de las materias primas; en el diseño de productos se comienza a utilizar la simulación molecular, o predicción de propiedades desde la estructura molecular con objeto no sólo de obtener un producto de una propiedades determinadas, sino también para desarrollar una forma de obtenerlo.
- Aplicaciones de la inteligencia artificial: empleo de ordenadores con el fin de que realicen operaciones similares a las facultades humanas de aprendizaje y adopción de decisiones, y que incluye:
 - Sistemas expertos: utilización de bases de datos de conocimientos expertos en continuo crecimiento para síntesis, diseño u operación de procesos.
 - Redes neuronales: conjunto de ordenadores, programas y estructuras de datos dispuestos de tal forma que permiten emular las operaciones del cerebro humano, para clasificación de materias primas multicomponentes, análisis de composición química o modelado de unidades de proceso.
 - Lógica difusa: forma de lógica que amplía los conceptos lógicos “verdadero/falso” con gradaciones intermedias aún susceptibles de procesamiento por ordenador, para control de procesos complejos.
 - Algoritmos genéticos: procedimientos de cálculo por ordenador basados en el concepto de evolución biológica (supervivencia del mejor adaptado), para resolver complejos problemas de búsqueda en optimización.