

ÍNDICE

<i>Presentación</i>	9
<i>Tema 1.</i> CONCEPTO Y FUNDAMENTOS DE LA INGENIERÍA QUÍMICA. LA INDUSTRIA QUÍMICA	11
<i>Tema 2.</i> BALANCES DE MATERIA.....	45
<i>Tema 3.</i> BALANCES DE ENERGÍA.....	71
<i>Tema 4.</i> FUNDAMENTOS DE LAS OPERACIONES BÁSICAS DE LA INGENIERÍA QUÍMICA.....	97
<i>Tema 5.</i> OPERACIONES DE TRANSFERENCIA DE CANTIDAD DE MOVIMIENTO..	115
<i>Tema 6.</i> OPERACIONES DE TRANSFERENCIA DE MATERIA Y ENERGÍA	143
<i>Tema 7.</i> OPERACIONES COMPLEMENTARIAS	169
<i>Tema 8.</i> INGENIERÍA DE REACTORES Y TECNOLOGÍAS ESPECIALES.....	177
<i>Tema 9.</i> INGENIERÍA MEDIOAMBIENTAL APLICADA A LA INGENIERÍA QUÍMICA	193
<i>Tema 10.</i> SEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL. OTRAS TÉCNICAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES.....	217
<i>Tema 11.</i> LA ATMÓSFERA COMO MATERIA PRIMA: OBTENCIÓN DE GASES NOBLES, NITRÓGENO Y OXÍGENO.....	277
<i>Tema 12.</i> LA HIDROSFERA COMO MATERIA PRIMA: OBTENCIÓN DE AGUA Y OBTENCIÓN DE SALES	295

<i>Tema 13.</i> LA INDUSTRIA DEL CLORO-SOSA	323
<i>Tema 14.</i> LA LITOSFERA COMO MATERIA PRIMA: MINERALES Y PRODUCTOS BÁSICOS. PRINCIPALES ÁCIDOS.....	337
<i>Tema 15.</i> MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN: PRODUCTOS CERÁMICOS, YESOS Y CALES.....	365
<i>Tema 16.</i> INDUSTRIAS DEL CEMENTO Y DEL VIDRIO.....	391
<i>Tema 17.</i> INDUSTRIAS METÁLICAS.....	413
<i>Tema 18.</i> LA BIOSFERA COMO FUENTE DE MATERIAS BÁSICAS EN LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA.....	439
<i>Tema 19.</i> COMBUSTIBLES.....	465
<i>Tema 20.</i> PETROQUÍMICA	499

OBJETIVOS

- Comprender el concepto y objetivos de la Ingeniería Química.
- Repasar los conceptos que ya debe poseer el alumno que son indispensables para una comprensión de la asignatura.
- Introducción a los conceptos propios y descripción de los principios en los que se basa la Ingeniería Química que serán desarrollados a lo largo de su estudio.

1.1. LA INDUSTRIA QUÍMICA: EVOLUCIÓN, PRESENTE Y FUTURO

La Química es la ciencia que trata de la materia en cuanto a su composición, estructura, propiedades y transformación. El mundo que se conoce, tanto lo inanimado como lo animado, está constituido por materia. El avance de los conocimientos desvela continuamente que hasta los aspectos más aparentemente desligados de lo material, como pueden ser los relacionados con la personalidad de cada cual, tienen que ver (en mayor o menor grado) con las propiedades y maneras de transformarse de la materia que los sustenta, tal y como ocurre con la memoria y la conducta, por ejemplo. Por lo tanto, la Química, en sus más diversas ramas, no deja de tener una trascendental importancia en el progreso de la historia de la humanidad hacia niveles de mayor bienestar y esperanza de vida, en conjunción e integración con las demás Ciencias y sus formas de aplicación. Así se desarrolla la bioquímica hacia campos como la biología molecular y la ingeniería genética, las ciencias e ingenierías ambientales, las ciencias de los materiales y sus aplicaciones, etc.

Los más diversos aspectos que configuran la vida actual, tan profundamente cambiante y dinámica, y que condicionan su futuro, como los relacionados con la salud, la alimentación, el transporte, las comunicaciones,

la vivienda, la energía, la cultura, el ocio, etc., se deben a los avances de la Ciencia y de la Técnica con una fuerte y decisiva contribución de las ciencias e ingeniería químicas.

Todo avance en cualquier ámbito de la Ciencia y de la Técnica, no solo en lo que concierne a los aspectos químicos, implica además el riesgo de su utilización en contra de la calidad de vida y del futuro de parte o toda la humanidad, ya sea inconscientemente por una desmesurada ambición que desprecia una actitud razonable de precaución hacia lo que aun no se conoce suficientemente, ya sea más o menos conscientemente con la agresión directa a la vida (drogas, armas, fraudes alimentarios, etc.), al medio ambiente y al desarrollo sostenible. Se impone un equilibrio que conjugue el avance hacia un verdadero progreso y el respeto hacia la vida, la dignidad humana, el medio ambiente, las demás especies y los recursos naturales. Lo que implica el mayor conocimiento de todos los aspectos más allá de los considerados propios de la profesión u oficio y la actuación interdisciplinaria en cualquier caso. De aquí el interés que la Química y la Ingeniería Química, al menos en nociones básicas, como cualquier otra Ciencia y Técnica, tiene para todo científico e ingeniero.

Así se reconoce por la Comisión Europea en el Libro Blanco de 2001 sobre la Estrategia para la futura política en materia de sustancias y preparados químicos, con un objetivo fundamental: el desarrollo sostenible, que ha conducido al sistema REACH y a la creación de la Agencia Europea ECHA con sede en Helsinki. La producción mundial de productos químicos ha pasado de un millón de toneladas en 1930 a más de 500 millones de toneladas en la actualidad. Hay ya más de 100.000 sustancias químicas distintas registradas en el mercado europeo, de las cuales 10.000 se comercializan en cantidades superiores a 10 toneladas y unas 20.000 en cantidades comprendidas entre 1 y 10 toneladas. La industria química es la tercera industria de transformación en importancia en Europa. Emplea directamente a cerca de dos millones de personas y unos tres millones de empleos dependen de ese sector. Además de diversas multinacionales influyentes, cuenta con unas 36.000 PYME, que representan el 96% del número total de empresas y contribuyen en un 28% a la producción química. La nueva estrategia comunitaria trata de garantizar la sostenibilidad y un nivel alto de protección de la salud humana y del medio ambiente, además de facilitar el funcionamiento eficaz del mercado interior y estimular la innovación y la competitividad en la industria química.

Se trata pues de aportar desde la industria química productos, de utilización directa o como materia prima, mejorados no solo desde el punto de vista de su aplicación más eficiente sino también con el mayor respeto a la vida, al medio ambiente y al desarrollo sostenible. Y se trata también de que los procesos tanto de producción como de transformación, incluido el tratamiento y en su caso reciclado de los desechos, cumplan tales objetivos. Es esencial, pues, el conocimiento de las propiedades de los productos así como de los procesos en los que intervienen, ya sean industriales o de interacción con el medio. Solo mediante el conocimiento de cómo y por qué se desarrollan estos procesos *químicos* se los podrá controlar con garantía y eficacia y mejorarlos, para seguir avanzando en el progreso.

1.2. CONCEPTO DE INGENIERÍA QUÍMICA

Desde los comienzos de la humanidad puede decirse que la química ha intervenido en el devenir del progreso de nuestra especie, desde el descubrimiento del fuego, su utilización y su control, pasando por la metalurgia, la cerámica, la pintura, los tintes, entre otros, estando presente en todos los momentos de la Historia, e incluso condicionándola (el descubrimiento de la pólvora; las guerras por las materias primas, por ejemplo el carbón, el caucho, el petróleo; la evolución de la medicina, la agricultura, la alimentación, los transportes; la biotecnología, la industria aeroespacial, las comunicaciones y un muy largo etcétera).

Por otra parte, según la Real Academia de la Lengua Española, la ingeniería es el conjunto de conocimientos y técnicas que permiten aplicar el saber científico a la utilización de la materia y de las fuentes de energía.

El ingeniero está capacitado por lo tanto para profundizar en los conocimientos científicos existentes así como en los avances existentes en el ámbito de la técnica con el fin de obtener para cada caso planteado la mejor solución que convenga con relación a los objetivos planteados y a las circunstancias del entorno de la empresa o entidad a la que presta sus servicios. Por lo tanto es competente, entre otras cosas, para el diseño, desarrollo, control y mejora de un determinado proceso, instalación o producto, como puede ser, por ejemplo, producir energía eléctrica, refinar el petróleo, fabricar vehículos, construir carreteras, extraer minerales, desarrollar una explotación agraria, etc.

La industria se puede definir como la actividad que tiene por objeto la transformación tanto de los productos de la naturaleza como de productos ya transformados y de las fuentes de energía para su consumo. En este momento debe añadirse que tales actividades deben respetar el medio ambiente, el desarrollo sostenible, las vidas de las personas, animales y plantas así como los bienes, permitiendo además que los beneficios del uso y consumo de lo que produce tal actividad puedan extenderse a todo tipo de persona con independencia de sus peculiaridades o limitaciones, ya sean permanentes o temporales. Además deben ser competitivas y adaptables a los posibles cambios los que deba someterse por circunstancias de mercado, de innovación tecnológica o de otra índole.

El Ingeniero Industrial parte de una base científica y técnica muy amplia con una especialización en los aspectos tecnológicos correspondientes a la especialidad elegida, estando capacitado para el proyecto y fabricación de productos para su uso directo o indirecto en la sociedad, así como para el desarrollo de servicios de carácter técnico. Su formación incluye técnicas de dirección y gestión y le permite actuar en ámbitos pluridisciplinarios, particularidad ésta que prácticamente abarca cualquier actividad. Además debe estar en constante alerta ante los diversos cambios tecnológicos, económicos, sociales y organizacionales, con el fin de encontrar las mejores soluciones en cada momento, en una época marcadamente cambiante.

Finalmente la Ingeniería Química es la Ingeniería Industrial que aborda, en particular, las transformaciones de las sustancias químicas con el objeto de conseguir un determinado producto con una cierta utilidad o, en su caso, un cierto efecto deseado. En este sentido, el ingeniero químico es un ingeniero que une a los conocimientos básicos de las demás ingenierías, matemáticas, física, economía, entre otras, la propia química. De este modo, puede considerarse que su base es aún más extensa.

El ingeniero químico debe conocer profundamente no solamente las materias primas y los productos que pretende obtener, sino también las características y posibilidades de los procesos a emplear, teniendo en cuenta los posibles productos intermedios, subproductos y residuos, así como sus propiedades fisicoquímicas. Muchas variables influyen en estos procesos, tales como temperatura, presión, caudal, estado, etc. Es esencial controlar los consumos y posibles pérdidas tanto de masa como de energía. Para ello

es muy importante los soportes a utilizar tanto en el almacenamiento como en las distintas partes y fases del proceso: depósitos, reactores, tuberías... Y toda una diversidad de equipos y dispositivos para el mejor rendimiento, calidad y control.

En esta ingeniería es, si cabe, aún más importante la gestión del proceso en toda su extensión (desde la entrada de materias primas y las necesidades de energía hasta la salida y distribución de los productos), con un diseño y organización versátil y adaptable a las disponibilidades y las demandas. Determinados procesos producen productos que a su vez son materia prima para otras industrias. Cada vez es mayor la diversidad de tipos y cantidades en la demanda. Cuestiones como el almacenamiento y el transporte son esenciales. Y la industria química es, además, la que potencialmente puede contaminar, en términos generales, en mayor medida que otras actividades. Es creciente la necesidad del mayor control posible no solo para una calidad del producto ajustada, que incluya los mayores niveles de seguridad y protección de la salud y el medio ambiente en su utilización, si no también para el máximo aprovechamiento de las materias y energías utilizadas, la contribución al desarrollo sostenible, el reciclado, la adecuada, segura y limpia evacuación de los residuos, la no contaminación de suelos, aire y agua...

No obstante, estos principios de la ingeniería química interesan no solo al futuro ingeniero industrial químico sino a todo ingeniero industrial, cualquiera que sea su especialización, incluso a cualquier ingeniero y otros profesionales, especialmente los de los ámbitos del medio ambiente y de la higiene industrial, por cuanto que en su actuación profesional muy probablemente se va a encontrar con cuestiones relacionadas con los procesos químicos, siendo esencial unos conocimientos mínimos para entenderlas y comprenderlas para una mejor colaboración en los equipos multidisciplinares y en las relaciones interdisciplinares.

1.3. CONCEPTOS PREVIOS

Para poder comprender y avanzar en lo que respecta a las Bases de la Ingeniería Química se debe tener muy claros determinados conceptos de la Química y la Física y poder utilizarlos con suficiente agilidad y seguridad. Se recomienda, por lo tanto, que se repasen anteriores asignaturas es-

pecialmente en lo que respecta a las magnitudes y unidades correspondientes a la cantidad de materia, concentración y masa (mol, masa molecular, molaridad, fracción molar, densidad, densidad relativa, etc.), las magnitudes y unidades y leyes relacionadas con la temperatura, la energía, el movimiento, y presión, a las leyes y cálculos para las reacciones químicas y la estequiometría (composición, ajuste, conversión, rendimiento, selectividad, etc.), las bases de la termodinámica, cinética química y mecánica de fluidos, etc. Para facilitar el recuerdo de estas materias y la verificación de su comprensión y utilización correcta se ofrece un breve glosario de términos y leyes y algunos ejercicios.

1.3.1. Proceso químico

Un proceso químico a escala industrial es un conjunto de operaciones que implican reacciones químicas y transformaciones físicas, interrelacionadas entre sí, dirigidas a la obtención de determinados productos finales a partir de materias primas que, en general, se aportan en la fase inicial.

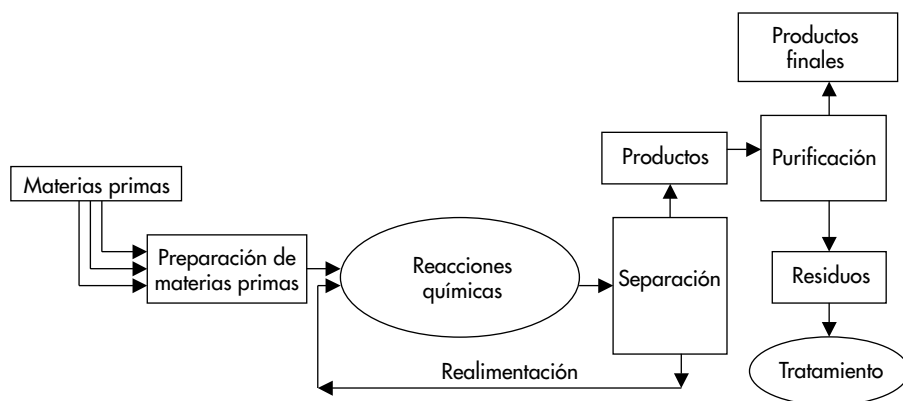


Figura 1.1. Esquema simple de un proceso químico industrial.

Estos procesos pueden llegar a ser de gran complejidad, pero en general siguen el esquema descrito en la figura 1.1. Se parte de unas materias primas iniciales, que se preparan mediante transformaciones físicas y químicas para su entrada en un conjunto de reactores, del que salen unos productos de reacción mezclados con subproductos y materias primas no consumidas. Tras una conveniente separación, estas últimas pueden recir-

cularse hasta los reactores, los subproductos después de un tratamiento adecuado pueden ser aprovechados para otro proceso o simplemente se minimiza su impacto en el medio ambiente como desechos al igual que los residuos que resultan de la purificación de los productos finales de reacción para acabar como productos finales dispuestos para el consumo, ya sea de otro proceso industrial o bien para su comercialización. A todo lo referente a la materia, se añaden los intercambios de energía en todo este conjunto de operaciones y etapas.

También deben incluirse como procesos químicos industriales aquellos que no tienen por finalidad la obtención de productos para su consumo, como es el caso de los que persiguen el tratamiento de subproductos y residuos con el fin de reciclarlos y de minimizar la contaminación del medio ambiente.

1.3.2. Productos intermedios, subproductos, residuos e impurezas

Se denominan productos intermedios a las sustancias formadas durante las reacciones químicas y que se transforman y desaparecen antes del final de la reacción o del proceso. Puede ocurrir que no se consuman por completo y constituyan a su vez subproductos que pueden reciclarse introduciéndolos en la etapa correspondiente del proceso.

Los subproductos son las sustancias que se forman durante las reacciones químicas y que permanecen al final de la reacción o del proceso. Suelen ser productos de reacción no deseados que muchas veces se someten a otros procesos para su aprovechamiento o para lograr un menor impacto en el medio ambiente en el caso de que tengan que desecharse.

Los residuos son productos de las reacciones que deben ser eliminados al final del proceso. En general carecen de interés y cuando pueden representar un riesgo para las personas o para el medio ambiente se califican como residuos tóxicos y peligrosos, debiendo ser tratados convenientemente como desecho de acuerdo con la normativa medioambiental correspondiente.

Las impurezas son sustancias que están presentes en otras sustancias en cantidades relativas insignificantes. Cuando acompañan a los productos del proceso y, por diversas razones, no pueden utilizarse o consumir-