



LOREM IPSUM

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Mauris facilisis.

LOREM IPSUM

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Mauris facilisis.



LOREM IPSUM

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Mauris facilisis.



# INGENIERÍA QUÍMICA

PILAR MULTIDISCIPLINARIO EN DIVERSAS INDUSTRIAS

Flores-Murillo, Carlos Rene  
Ochoa-Celi, Joaquín Alejandro  
Santamaría-Robles, Lissette Beatriz





# **La ingeniería química pilar multidisciplinario en diversas industrias.**

*!Unete a la revolucion de la Ingenieria Quimica  
y construye un futuro mas sustentable y  
sostenible para todos!*

*Desarrolla Competencias Para La Vida*

## **Autor/es:**

**Flores-Murillo, Carlos Rene**

*Universidad Ecotec, Campus Samborondón – Ecuador*

**Ochoa-Celi, Joaquín Alejandro**

*Universidad de Guayaquil, Campus Centro – Ecuador*

**Santamaría-Robles, Lissette Beatriz**

*Universidad Internacional de La Rioja – España*



Datos de Catalogación Bibliográfica

Flores-Murillo, C, R.  
Ochoa-Celi, J, A.  
Santamaría-Robles. L, B.

**La ingeniería química pilar multidisciplinario en diversas industrias**

Editorial Grupo AEA, Ecuador, 2024

ISBN: 978-9942-651-58-7

Formato: 210 cm X 270 cm

136 págs.



**Publicado por Editorial Grupo AEA**

Ecuador, Santo Domingo, Vía Quinindé, Urb. Portón del Río.

**Contacto:** +593 983652447; +593 985244607

Email: [info@editorialgrupo-aea.com](mailto:info@editorialgrupo-aea.com)

<https://www.editorialgrupo-aea.com/>

<b>Director General:</b>	<i>Prof. César Casanova Villalba.</i>
<b>Editor en Jefe:</b>	<i>Prof. Giovanni Herrera Enríquez</i>
<b>Editora Académica:</b>	<i>Prof. Maybelline Jaqueline Herrera Sánchez</i>
<b>Supervisor de Producción:</b>	<i>Prof. José Luis Vera</i>
<b>Diseño:</b>	<i>Tnlgo. Oscar J. Ramírez P.</i>
<b>Consejo Editorial</b>	<i>Editorial Grupo AEA</i>

Primera Edición, 2024

D.R. © 2024 por Autores y Editorial Grupo AEA Ecuador.

Cámara Ecuatoriana del Libro con registro editorial No 708

**Disponible para su descarga gratuita en <https://www.editorialgrupo-aea.com/>**

*Los contenidos de este libro pueden ser descargados, reproducidos difundidos e impresos con fines de estudio, investigación y docencia o para su utilización en productos o servicios no comerciales, siempre que se reconozca adecuadamente a los autores como fuente y titulares de los derechos de propiedad intelectual, sin que ello implique en modo alguno que aprueban las opiniones, productos o servicios resultantes. En el caso de contenidos que indiquen expresamente que proceden de terceros, deberán dirigirse a la fuente original indicada para gestionar los permisos.*

## Título del libro:

La ingeniería química pilar multidisciplinario en diversas industrias

© Flores Murillo, Carlos Rene; Ochoa Celi, Joaquín Alejandro; Santamaría Robles, Lissette Beatriz.

© Noviembre, 2024

Libro Digital, Primera Edición, 2024

Editado, Diseñado, Diagramado y Publicado por Comité Editorial del Grupo AEA, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador, 2024

**ISBN: 978-9942-651-58-7**



<https://doi.org/10.55813/egaea.l.103>

## Como citar (APA 7ma Edición):

Flores-Murillo, C. R., Ochoa-Celi, J. A., Santamaria-Robles, L. B. (2024). La ingeniería química pilar multidisciplinario en diversas industrias. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.103>

Cada uno de los textos de Editorial Grupo AEA han sido sometido a un proceso de evaluación por pares doble ciego externos (double-blindpaperreview) con base en la normativa del editorial.

## Revisores:



Ing. Rodríguez Deza Jorge Universidad Nacional de  
Washington, PhD. Huancavelica – Perú



Ing. Clara Isabel Ruiz Sánchez, Universidad Técnica Estatal de  
Mgs. Quevedo – Ecuador



Los libros publicados por “Editorial Grupo AEA” cuentan con varias indexaciones y repositorios internacionales lo que respalda la calidad de las obras. Lo puede revisar en los siguientes apartados:



## Editorial Grupo AEA



<http://www.editorialgrupo-aea.com>



Editorial Grupo AeA



editorialgrupoea



Editorial Grupo AEA

## Aviso Legal:

La información presentada, así como el contenido, fotografías, gráficos, cuadros, tablas y referencias de este manuscrito es de exclusiva responsabilidad del/los autor/es y no necesariamente reflejan el pensamiento de la Editorial Grupo AEA.

## Derechos de autor ©

Este documento se publica bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0).



El “copyright” y todos los derechos de propiedad intelectual y/o industrial sobre el contenido de esta edición son propiedad de la Editorial Grupo AEA y sus Autores. Se prohíbe rigurosamente, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total y/o parcial de esta obra, ni su tratamiento informático de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma de ninguna forma o por cualquier medio, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright, salvo cuando se realice confines académicos o científicos y estrictamente no comerciales y gratuitos, debiendo citar en todo caso a la editorial. Las opiniones expresadas en los capítulos son responsabilidad de los autores.



## RESEÑA DE AUTORES

**Flores Murillo, Carlos Rene**Universidad Ecotec  
Samborondón - Ecuador[cflores@ecotec.edu.ec](mailto:cflores@ecotec.edu.ec)<https://orcid.org/0000-0003-1507-9113>

Ecuatoriano nacido en Guayaquil. Bachiller Químico-Biólogo, graduado en la Universidad de Guayaquil de Ingeniero Químico. Magister en Educación Superior. Ha laborado en empresas alimenticias, de productos químicos y de consultoría. Interesado en el área de las ciencias e impulsado por su creatividad y la investigación, ha publicado varios artículos científicos y libros. Docente en varias Instituciones Públicas, en la actualidad ejerce Docencia en la Universidad Ecotec de Samborondón-Ecuador en la Facultad De Ingenierías, Arquitectura Y Ciencias De La Naturaleza. Agradecido con Dios y con sus padres a quienes profesa profunda gratitud y dedica la presente obra, considera que el arte supremo del docente es: Despertar el placer de la expresión creativa y el conocimiento a los demás.

**Ochoa Celi, Joaquín Alejandro**Universidad de Guayaquil, Campus  
Centro - Ecuador[joaquin.ochoac@ug.edu.ec](mailto:joaquin.ochoac@ug.edu.ec)<https://orcid.org/0000-0001-5535-6563>

Nacido en Santa Rosa, El Oro –Ecuador, se graduó de Bachiller en Ciencias en el colegio Zoila Ugarte de Landívar, continuó su educación superior en la Universidad de Guayaquil, obtuvo su título en Ingeniería Química. Posteriormente, alcanzó el grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería Química en la Universidad de los Andes, en Mérida, Venezuela. Ha laborado como Inspector y Laboratorista de Control de Calidad en la producción de productos de limpieza, derivados del petróleo y agua potable y en el área de Ventas. Docente en el área de Admisión Nivelación y en la Carrera de Ingeniería Química en la Universidad de Guayaquil. Valora la importancia de la familia como base de la sociedad. Mantiene la convicción de que los valores familiares, la honestidad y la educación son fundamentales para construir una sociedad más justa y equilibrada.

## RESEÑA DE AUTORES

# AUTORES



**Santamaría Robles, Lissette Beatriz**



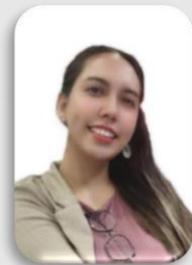
Universidad Internacional de la Rioja - España.



[lissette.santamariarobles@gmail.com](mailto:lissette.santamariarobles@gmail.com)



<https://orcid.org/0009-0008-0063-4237>



Nacida en Guayaquil, Ecuador, graduada en el Colegio Experimental Rita Lecumberry, con estudios de tercer nivel en la Universidad de Guayaquil, obteniendo el título de Química Farmacéutica. Cursando Maestría en Dirección y Gestión Sanitaria. Se ha desempeñado como analista de control de calidad en la industria farmacéutica. Auditor de Normativas regulatorias Sanitarias, directora técnica de la Industria con certificación de buenas prácticas de almacenamiento, distribución y transporte, analista zonal en la Agencia Nacional de Regulación Control y Vigilancia Sanitaria (ARCSA), responsable de Calidad en el sector Farmacéutico. Docente de Bachillerato, y prepara estudiantes para ingreso a la Universidad. Considera que practicar deportes fomenta la salud física, el trabajo en equipo, la disciplina y la resiliencia. A su vez, la investigación impulsa el conocimiento y la innovación, aspectos esenciales para el progreso de la comunidad. Encontrar el equilibrio entre el desarrollo profesional y la convivencia familiar logra generar una mayor estabilidad, colocando a la familia como base fundamental del desarrollo.

## Índice

Reseña de Autores.....	X
Índice.....	xi
Índice de Tablas .....	xiv
Índice de Figuras .....	xv
Introducción .....	xvii
Capítulo I: Introducción a la Ingeniería Química .....	18
1.1.    Introducción a la Ingeniería Química .....	20
1.2.    Formación académica .....	22
1.3.    Historia de la Ingeniería Química.....	24
1.4.    Principales hitos históricos .....	25
1.5.    Pioneros de la Ingeniería Química y sus contribuciones .....	26
1.6.    La Ingeniería Química como profesión en el Ecuador .....	27
1.7.    Diferencias y similitudes con otras ramas de la ingeniería y la química pura	30
1.8.    Tendencias actuales y futuras de la Ingeniería Química .....	31
1.9.    Leyes de la conservación de masa y energía .....	32
1.10.   Termodinámica y su aplicación en la ingeniería química.....	33
1.10.1.  Aplicaciones en Ingeniería Química.....	33
1.10.2.  Principios de transferencia de masa, calor y momentum.....	34
1.10.3.  Importancia del balance de materia y energía:.....	35
1.10.4.  Formulación y aplicación de balances de materia y energía: ....	35
1.11.   Unidades y dimensiones utilizadas en la ingeniería química: Sistema internacional de unidades (SI) y otras unidades comunes: .....	36
1.12.   Conversión entre unidades: .....	36
1.13.   Aplicación en el contexto de procesos químicos:.....	37
1.14.   Introducción a la modelización y simulación de procesos .....	37

1.15.	Principios de diseño de experimentos .....	38
1.15.1.	Tipos de Diseños Experimentales.....	38
1.16.	Técnicas de análisis y optimización de procesos.....	39
1.16.1.	Análisis de Procesos: .....	39
1.16.2.	Optimización de Procesos:.....	39
1.16.3.	Herramientas de Optimización Común: .....	39
1.16.4.	Aplicaciones en Ingeniería Química:.....	40
	Autoevaluación .....	41
	Evaluación por competencias .....	45
	Glosario.....	46
	Capítulo II: Procesos Químicos .....	48
2.1.	Introducción.....	50
2.2.	Los procesos químicos en la actualidad y perspectivas de futuro .....	53
2.3.	Impacto de los procesos químicos sobre el medio ambiente .....	53
2.4.	Descripción, a modo de ejemplo, de un proceso químico-industria ...	55
	Autoevaluación .....	57
	Evaluación por competencias .....	61
	Glosario.....	62
	Capítulo III: Operaciones Básicas en Ingeniería Química .....	64
3.1.	Introducción.....	66
3.2.	Concepto de Operación Básica.....	67
3.3.	Operaciones Continuas en Ingeniería Química.....	69
3.3.1.	Ventajas de las Operaciones Continuas:.....	69
3.3.2.	Desventajas de las Operaciones Continuas:.....	70
3.4.	Destilación Continua.....	71
3.5.	Extracción Continua.....	73
3.6.	Filtración Continua.....	74

3.7.	Mezclado Continuo .....	75
3.8.	Transferencia de Calor y Masa Continua .....	76
3.9.	Cristalización Continua.....	76
3.10.	Control y Optimización de Procesos Continuos .....	78
3.10.1.	Sistemas de Control Avanzado:.....	78
3.10.2.	Optimización de Procesos:.....	78
3.11.	Operaciones Discontinuas en Ingeniería Química .....	79
3.11.1.	Ventajas de las Operaciones Discontinuas .....	80
3.11.2.	Desventajas de las Operaciones Discontinuas .....	81
3.12.	Control y Optimización de Procesos Discontinuos:.....	85
3.13.	Operaciones Semicontinuas en Ingeniería Química.....	87
3.13.1.	Características de las Operaciones Semicontinuas .....	88
3.13.2.	Ventajas de las Operaciones Semicontinuas .....	88
3.13.3.	Desventajas de las Operaciones Semicontinuas .....	89
3.14.	Control y Optimización de Procesos Semicontinuos.....	90
3.15.	Contacto entre fases inmiscibles: continuo o discontinuo.....	91
3.15.1.	Contacto Continuo entre Fases Inmiscibles .....	91
3.15.2.	Contacto Discontinuo entre Fases Inmiscibles.....	92
3.15.3.	Características del Flujo en Paralelo .....	93
3.15.4.	Ventajas y Aplicaciones del Flujo en Paralelo .....	93
3.16.	Flujos Controlantes en Operaciones Básicas.....	94
3.16.1.	Flujo Controlado por Transferencia de Masa: .....	94
3.16.2.	Flujo Controlado por Transferencia de Calor:.....	94
3.16.3.	Flujo Controlado por Mezclado: .....	94
3.16.4.	Flujo Controlado por Transferencia de Fase: .....	95
3.17.	Flujos Controlantes en Reactores Químicos .....	95
3.17.1.	Flujo Controlado por la Cinética de Reacción: .....	95

3.17.2. Flujo Controlado por Transferencia de Masa en el Reactor: .....	95
3.17.3. Flujo Controlado por Transferencia de Calor en el Reactor:.....	96
3.17.4. Cálculo del número de variables de diseño .....	98
Autoevaluación .....	103
Evaluación por competencia .....	105
Glosario.....	106
Capítulo IV: Innovación y progreso tecnológico .....	110
4.1. Aplicaciones Industriales y Sostenibilidad .....	112
4.2. Sostenibilidad y Economía Circular .....	113
4.3. Biotecnología y Nanotecnología .....	114
4.4. Digitalización e Industria 4.0 .....	115
4.5. Educación y Formación Continua .....	115
4.6. Ingeniería de Procesos.....	116
4.6.1. Diseño de Plantas Químicas .....	116
4.6.2. Control de Procesos y Seguridad.....	117
Autoevaluación .....	121
Evaluación por competencias .....	123
Glosario.....	124
Solucionario .....	126
Nomenclatura .....	127
Factores de conversiones .....	130
Referencias Bibliográficas.....	132

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1 Operaciones básicas y sus objetivos principales .....</b>	<b>101</b>
--	------------

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> Ingeniero Químico.....	20
<b>Figura 2</b> Industria Química .....	25
<b>Figura 3</b> Ocupaciones Ingeniero Químico .....	30
<b>Figura 4:</b> Esquema de un proceso químico.....	51
<b>Figura 5</b> Factores para el desarrollo de un proceso químico.....	53
<b>Figura 6</b> Productos químicos finales.....	55
<b>Figura 7</b> Esquema de una Operación Continua .....	69
<b>Figura 8</b> Operación continua de una unidad de destilación atmosférica.....	71
<b>Figura 9</b> Esquema de la torre de destilación fraccional binaria continua. ....	72
<b>Figura 10</b> Reactores de Flujo Continuo .....	72
<b>Figura 11</b> Reactor Tubular en la síntesis de polímero .....	73
<b>Figura 12</b> Extracción Continua Líquido-Líquido.....	74
<b>Figura 13</b> Filtración Continua .....	75
<b>Figura 14</b> Unidad de Mezclado Continuo .....	75
<b>Figura 15</b> Intercambiador de calor .....	76
<b>Figura 16</b> Cristalización continua .....	77
<b>Figura 17</b> Control y Optimización de Procesos .....	78
<b>Figura 18</b> Producción de Etileno.....	79
<b>Figura 19</b> Esquema de Operación Discontinua.....	80
<b>Figura 20</b> Reactor.....	82
<b>Figura 21</b> Destilación por Lotes .....	82
<b>Figura 22</b> Secador de bandejas discontinuo .....	83
<b>Figura 23</b> Cristalización.....	83
<b>Figura 24</b> Sistema de centrifugación .....	84
<b>Figura 25</b> Esquema de una unidad discontinua de fabricación de polioles .....	87
<b>Figura 26</b> Esquema de una operación semicontinua.....	87
<b>Figura 27</b> Esquema de aprovechamiento químico-industrial de materias primas. ....	117
<b>Figura 28</b> Materias primas para la obtención de amoníaco y aplicaciones industriales.....	119
<b>Figura 29</b> Esquema general de las operaciones de una refinería.....	119
<b>Figura 30</b> Diagrama de flujo del proceso de fabricación del ácido nítrico.....	120



## Introducción

La Ingeniería Química es una profesión esencial para el desarrollo de múltiples actividades en cualquier país, tiene un desempeño preponderante en áreas industrial y tecnológica, siendo la Industria petrolera una de las que más sobresale, pasando por la alimentaria y la ambiental entre otras.

En el desempeño de sus funciones el Ingeniero químico, realiza actividades productivas, permitiendo enfrentar los desafíos de la nueva era, como la sostenibilidad y la innovación tecnológica, es una profesión de vital importancia para el futuro del país.

El presente libro cubre aspectos claves que contribuyen al desarrollo de las competencias necesarias para un ingeniero químico.

Relación entre el índice y competencias claves de un ingeniero Químico.

**Conocimiento Técnico:** Secciones como "Introducción a la Ingeniería Química" y "Termodinámica y su aplicación" proporcionan fundamentos esenciales.

**Análisis de Datos:** "Técnicas de análisis y optimización de procesos" y "Principios de diseño de experimentos" fomentan habilidades analíticas.

**Diseño de Experimentos:** La sección sobre "Formulación y aplicación de balances de materia y energía" y "Diseños Experimentales" es fundamental para esta competencia.

**Gestión de Proyectos:** Aunque no se menciona directamente, se puede inferir en "Control y Optimización de Procesos", donde se gestionan recursos y tiempos.

**Sostenibilidad:** La sección "Aplicaciones Industriales y Sostenibilidad" aborda prácticas sostenibles y economía circular.

**Trabajo en Equipo y Comunicación:** Aunque no se detalla, estas competencias pueden desarrollarse en el contexto de proyectos grupales y presentaciones técnicas que se derivan de las secciones prácticas.

**Innovación:** Se puede fomentar a través de "Tendencias actuales y futuras de la Ingeniería Química" y "Biotecnología y Nanotecnología", donde se exploran nuevos enfoques y tecnologías.



# CAPÍTULO 01

# INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA QUÍMICA





## Introducción a la Ingeniería Química

*“La ciencia puede divertirnos y fascinarnos, pero es la ingeniería la que cambia el mundo”*

*Isaac Asimov*

Este capítulo contiene una introducción a la Ingeniería Química desde sus orígenes considerando su evolución a través del tiempo, mostrando el desarrollo de las etapas en forma detallada desde lo empírico a la fase científica. A continuación, una breve descripción del objetivo y estructura de la Ingeniería Química, su alcance profesional, así como de las tendencias actuales y futuras; reflexionando su creciente importancia en los diversos campos industriales.

### 1.1. Introducción a la ingeniería química

La Ingeniería Química es una profesión esencial para el desarrollo de cualquier país, con desempeño preponderante en áreas industrial y tecnológica. Industrias que van desde la petrolera pasando por la alimentaria y la ambiental entre otras. Enfrentando desafíos como la sostenibilidad y la innovación tecnológica, esta profesión seguirá siendo vital para el futuro del país.

Los Primeros Pasos de la Ingeniería Química surgieron como una respuesta a la creciente demanda de procesos industriales eficientes durante la Revolución Industrial.

#### Figura 1

*Ingeniero Químico*



Nota: Freepik, (2024).

Los primeros ingenieros químicos se centraron en la producción de químicos a gran escala, como ácidos y álcalis, utilizando tecnologías rudimentarias pero innovadoras para su época. El desarrollo de la destilación fraccionada y la comprensión de la cinética de las reacciones químicas sentaron las bases de la disciplina.

A principios del siglo XX, la Ingeniería Química comenzó a consolidarse como una profesión distinta, con la creación de los primeros programas académicos en universidades como el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) y el Instituto de Tecnología de California (Caltech). Durante este período, los ingenieros químicos jugaron un papel crucial en la expansión de la industria petroquímica, el desarrollo de fertilizantes y la producción de plásticos, contribuyendo significativamente al crecimiento económico global.

Hoy en día, la Ingeniería Química en la Era de la Innovación y la Sostenibilidad, abarca una amplia gama de industrias y aplicaciones. Los ingenieros químicos no solo se dedican a la producción de químicos, sino que también están involucrados en la biotecnología, la energía, la farmacéutica, la alimentación y la gestión ambiental. El enfoque contemporáneo de la Ingeniería Química combina principios fundamentales de química, física, biología y matemáticas con tecnologías avanzadas de simulación y diseño asistido por computadora para desarrollar y operar procesos que transforman materias primas en productos útiles para la sociedad.

Uno de los aspectos fundamentales de la ingeniería química es el estudio de los procesos y las operaciones unitarios. Los procesos unitarios se refieren a las etapas individuales en la transformación de materias primas, como la destilación, la cristalización y la extracción, mientras que las operaciones unitarias se centran en las técnicas y equipos utilizados en estos procesos, como los reactores químicos, los intercambiadores de calor y las columnas de destilación.

En la actualidad, los ingenieros químicos están a la vanguardia de la innovación tecnológica. Trabajan en el desarrollo de nuevos materiales, como nanomateriales y polímeros avanzados, que tienen aplicaciones en medicina, electrónica y energía. Además, están comprometidos con la creación de procesos industriales más eficientes y sostenibles. Por ejemplo, en la industria energética, los ingenieros químicos están desarrollando tecnologías para la

producción de biocombustibles y la captura y almacenamiento de carbono, contribuyendo a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

La seguridad y el control de calidad también son aspectos fundamentales de la práctica contemporánea de la Ingeniería Química. Los ingenieros químicos deben garantizar que los procesos industriales operen de manera segura y eficiente, minimizando los riesgos para los trabajadores y el medio ambiente. Esto incluye la implementación de sistemas de seguridad avanzados, protocolos de emergencia y auditorías de riesgo Ruiz Sánchez et al., (2024).

Con una visión hacia el futuro, la Ingeniería Química continuará desempeñando un papel crucial en la solución de algunos de los desafíos más apremiantes de la humanidad. Los ingenieros químicos estarán en el centro de la transición hacia una economía más sostenible y circular. Esto implicará el desarrollo de tecnologías innovadoras para la reutilización y reciclaje de materiales, la producción de energía limpia y la gestión eficiente de recursos naturales.

La biotecnología es otro campo prometedor para los ingenieros químicos del futuro. La ingeniería de bioprocesos y la biocatálisis ofrecen oportunidades para la producción de medicamentos, alimentos y combustibles de manera más sostenible y eficiente. Además, la integración de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático en el diseño y optimización de procesos promete revolucionar la forma en que los ingenieros químicos abordan problemas complejos.

El papel de los ingenieros químicos en la lucha contra el cambio climático será cada vez más importante. Tienen la capacidad para desarrollar tecnologías para la captura y reutilización de dióxido de carbono, la descarbonización de procesos industriales y la creación de nuevos materiales sostenibles. La investigación y el desarrollo en áreas como la energía solar, la energía eólica y el almacenamiento de energía serán fundamentales para lograr un futuro con bajas emisiones de carbono.

## **1.2. Formación académica**

Los profesionales en Ingeniería química en Ecuador deben tener una sólida formación en química, física, matemática y termodinámica. Además, deben estar familiarizados con técnicas de simulación y modelado de procesos, así como con

el manejo de equipos industriales. La capacidad de analizar y resolver problemas es crucial, ya que deben identificar ineficiencias y desarrollar soluciones innovadoras para mejorar los procesos industriales y ambientales. Es esencial que sean capaces de comunicar ideas y resultados de manera clara y efectiva, tanto de forma escrita como oral. También deben ser competentes en la gestión de proyectos, trabajando en equipo y liderando iniciativas para cumplir con los objetivos establecidos.

Uno de los mayores desafíos es desarrollar procesos industriales más sostenibles y ambientalmente responsables. Los ingenieros químicos deben liderar iniciativas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, minimizar los residuos y desarrollar tecnologías de energía limpia. La incorporación de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial, la automatización y la biotecnología avanzada está transformando la industria química en el Ecuador. Además, deben adaptarse y liderar estos cambios para mantener la competitividad del país en el mercado global. La educación y la formación continua son esenciales para que los ingenieros químicos se mantengan actualizados con los avances científicos y tecnológicos. Las universidades y las empresas deben colaborar para ofrecer programas de capacitación y desarrollo profesional.

La investigación y el desarrollo son áreas cruciales para el avance de la Ingeniería Química. Universidades y centros de investigación en el Ecuador están involucrados en proyectos que buscan innovar y mejorar los procesos industriales y ambientales. Muchos ingenieros químicos en el Ecuador ofrecen servicios de consultoría, proporcionando asesoramiento especializado en optimización de procesos, seguridad industrial y cumplimiento normativo.

En resumen, la carrera de Ingeniería Química es una carrera activa y multifacética que ha evolucionado hasta convertirse en una disciplina esencial para el progreso tecnológico y la sostenibilidad global Correa-Salgado et al., (2024)

Basados en una sólida base en ciencias fundamentales y una visión hacia el futuro, los ingenieros químicos están preparados para enfrentar y resolver desafíos, contribuyendo a un mundo más sostenible, saludable y equitativo, buscando siempre la innovación y la mejora continua en los procesos productivos

y en la utilización de recursos. Además, visualiza su papel como líderes y agentes de cambio en la industria, promoviendo la ética profesional, la responsabilidad social y la sostenibilidad en todas sus acciones y decisiones.

### 1.3. Historia de la Ingeniería Química

La Ingeniería Química tiene sus raíces en la Revolución Industrial del siglo XVIII, cuando la producción de productos químicos pasó de ser un arte a una ciencia basada en principios científicos. La necesidad de procesos industriales más eficientes y seguros impulsó el desarrollo de esta disciplina.

Siglo XVIII y XIX:

- **Revolución Industrial:** El aumento de la demanda de productos químicos como el ácido sulfúrico, la sosa y el cloro impulsó la necesidad de procesos de producción más eficientes. La fabricación de estos productos inicialmente se basó en métodos empíricos, pero gradualmente comenzó a incorporarse un enfoque más científico.
- **Desarrollo de la Termodinámica y Cinética Química:** El avance en el conocimiento de la termodinámica y la cinética química sentó las bases para el desarrollo de procesos químicos más controlados y eficientes.

Finales del Siglo XIX y principios del XX:

- **Formalización de la Ingeniería Química:** En 1887, Lewis Norton introdujo el primer curso de Ingeniería Química en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), marcando el inicio formal de la disciplina académica.
- **Publicación de “The Principles of Chemical Engineering”:** En 1923, William H. Walker, Warren K. Lewis y William H. McAdams publicaron "The Principles of Chemical Engineering", estableciendo un marco académico y profesional para la disciplina.

Siglo XX:

- **Expansión Industrial:** La Ingeniería Química experimentó un crecimiento significativo debido a la expansión de industrias como la petroquímica, farmacéutica y alimentaria. La Segunda Guerra Mundial y la posterior era de posguerra impulsaron la demanda de ingenieros químicos para la producción de materiales estratégicos y bienes de consumo.

- **Desarrollo de Nuevas Tecnologías:** La introducción de nuevas tecnologías, como los reactores químicos, las técnicas de separación y la automatización de procesos, amplió el alcance y la capacidad de la Ingeniería Química.

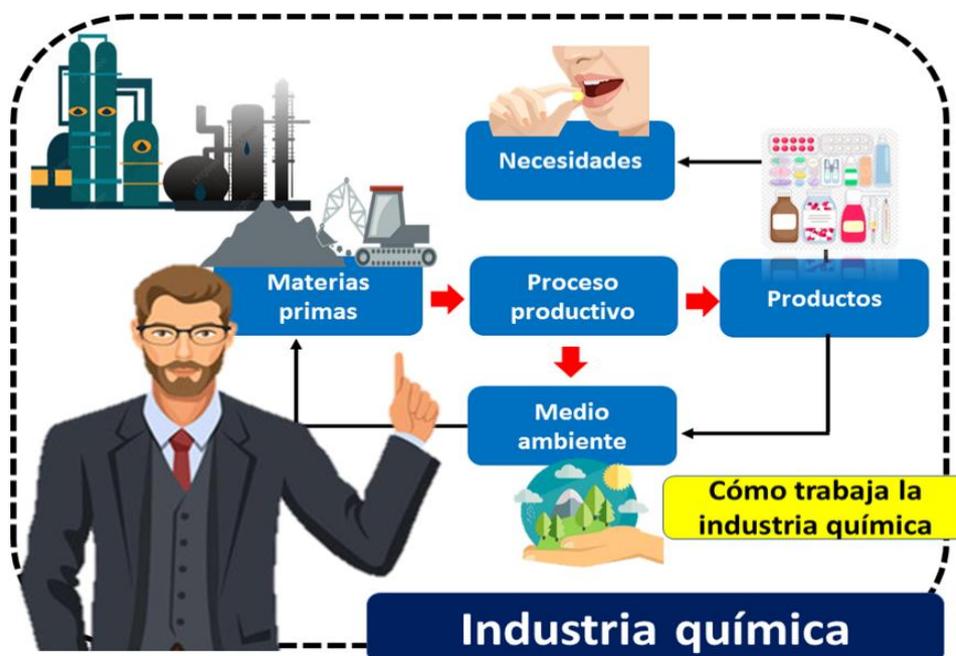
Siglo XXI:

- **Sostenibilidad y Tecnología Avanzada:** La Ingeniería Química se ha centrado en el desarrollo de tecnologías sostenibles, la producción de energía limpia, la biotecnología y la nanotecnología.

La disciplina sigue evolucionando para abordar desafíos globales como el cambio climático, la escasez de recursos y la sostenibilidad ambiental.

**Figura 2**

*Industria Química*



Nota: Economipedia, (2024).

## 1.4. Principales hitos históricos

- **Desarrollo del proceso Leblanc (1791):** Nicolas Leblanc desarrolló un proceso para la producción de sosa (carbonato de sodio), un componente clave en la fabricación de jabón y vidrio.

- **Proceso de Haber-Bosch (1910):** Fritz Haber y Carl Bosch desarrollaron un proceso para la síntesis de amoníaco a partir de nitrógeno e hidrógeno, revolucionando la producción de fertilizantes y explosivos.
- **Primer Curso de Ingeniería Química (1887):** Lewis Norton del MIT estableció el primer curso de Ingeniería Química, formalizando la disciplina.
- **Publicación de "The Principles of Chemical Engineering" (1923):** Este libro, escrito por Walker, Lewis y McAdams, definió los principios fundamentales de la Ingeniería Química y estableció una base académica para su enseñanza.
- **Desarrollo de la destilación fraccionada (1930):** Avances en la destilación fraccionada permitieron la separación eficiente de componentes en mezclas complejas, crucial para la industria petroquímica.
- **Introducción de los reactores químicos (1940-1950):** El desarrollo de reactores químicos permitió un mayor control y eficiencia en las reacciones químicas a gran escala.
- **Avances en la biotecnología y la nanotecnología (finales del siglo XX y principios del XXI):** La Ingeniería Química ha desempeñado un papel clave en el desarrollo de tecnologías avanzadas en biotecnología y nanotecnología, ampliando su alcance y aplicaciones.

## 1.5. Pioneros de la Ingeniería Química y sus contribuciones

- **George E. Davis:** Considerado el "padre de la Ingeniería Química", Davis escribió el primer manual de ingeniería química y definió los principios de la disciplina. Su obra "A Handbook of Chemical Engineering" (1901) estableció una base para la formación de ingenieros químicos.
- **Lewis Norton:** Introdujo el primer curso de Ingeniería Química en el MIT en 1887, sentando las bases para la enseñanza formal de la disciplina.
- **Arthur D. Little:** Un pionero en la aplicación de la investigación científica a problemas industriales, Little cofundó una de las primeras consultoras

de ingeniería química y realizó importantes contribuciones al desarrollo de procesos industriales.

- **Fritz Haber y Carl Bosch:** Desarrollaron el proceso de Haber-Bosch para la síntesis de amoníaco, un avance que revolucionó la industria de fertilizantes y tuvo un impacto significativo en la agricultura y la industria química.
- **Warren K. Lewis:** Coautor de "The Principles of Chemical Engineering", Lewis hizo importantes contribuciones a la teoría de los procesos químicos y fue un pionero en el desarrollo de la destilación fraccionada y la transferencia de masa.
- **William H. Walker:** Considerado uno de los fundadores de la Ingeniería Química moderna, Walker contribuyó significativamente a la educación y la práctica de la Ingeniería Química, estableciendo un marco para la disciplina en el MIT.

Estos pioneros y sus contribuciones han sido fundamentales para el desarrollo y la evolución de la Ingeniería Química, estableciendo los principios y prácticas que continúan guiando la disciplina en la actualidad.

## 1.6. La Ingeniería Química como profesión en el Ecuador

La Ingeniería Química es una disciplina fundamental en el desarrollo industrial y tecnológico de cualquier país, y el Ecuador no es la excepción. Esta carrera combina principios de química, física, matemáticas y economía para diseñar, desarrollar y optimizar procesos industriales que transformen materias primas en productos de alto valor añadido.

La Ingeniería Química en el Ecuador ha evolucionado considerablemente desde sus inicios. Las primeras instituciones que ofrecieron esta carrera surgieron en la segunda mitad del siglo XX, impulsadas por la necesidad de profesionales capacitados para la creciente industria petrolera y de procesamiento de alimentos. Universidades como la Escuela Politécnica Nacional (EPN) y la Universidad Central del Ecuador (UCE) fueron pioneras en la formación de ingenieros químicos en el país. El proceso ha estado influenciado por avances y prácticas internacionales. Profesionales ecuatorianos han colaborado y se han capacitado en el extranjero, trayendo consigo conocimientos y tecnologías de

punta que han contribuido a modernizar y mejorar los procesos industriales locales.

Los ingenieros químicos ecuatorianos se especializan en diversas áreas estratégicas, muchas de ellas vitales para generar y optimizar el sector productivo que a su vez genera y mueve la economía en la región.

En Ecuador, esta área abarca diversos sectores, según el Banco Mundial y otras fuentes, los ingenieros químicos encuentran oportunidades en industrias como la petroquímica, farmacéutica, alimentaria, y tratamiento de aguas residuales. Los sectores más destacados en el contexto ecuatoriano incluyen: diversas industrias, como la petrolera, la alimentaria, la farmacéutica y la ambiental.

**Industria Petroquímica:** Este sector es uno de los principales empleadores de ingenieros químicos en Ecuador debido a la importancia de la extracción y refinación de petróleo y gas. Las habilidades en diseño y operación de plantas son muy valoradas aquí. La Ingeniería Química es una disciplina fascinante que ha evolucionado significativamente desde sus inicios a finales del siglo XIX hasta convertirse en una fuerza impulsora de la innovación tecnológica y la sostenibilidad en el siglo XXI.

En la industria petrolera, que es una de las más importantes del país, juega un papel vital en la extracción, refinación y procesamiento de petróleo y sus derivados. Trabajan en la optimización de procesos, la mejora de la eficiencia y la implementación de tecnologías más limpias y sostenibles. Empresas como Petroamazonas y EP Petroecuador requieren de estos profesionales para optimizar sus procesos y reducir el impacto ambiental.

En la industria alimentaria, se encargan de desarrollar y optimizar procesos para la producción de alimentos y bebidas, asegurando su calidad y seguridad. La producción de cacao, banano y otros productos agrícolas es particularmente relevante. La producción y exportación de alimentos es una industria clave en el Ecuador. Los ingenieros químicos trabajan en empresas que procesan productos agrícolas y desarrollan nuevos métodos para mejorar la calidad y la eficiencia de la producción.

Los ingenieros químicos también trabajan en el tratamiento de aguas residuales y la gestión de residuos industriales, contribuyendo a la protección del medio

ambiente. Implementan tecnologías para la purificación del agua y la reducción de contaminantes en los ríos y otros cuerpos de agua.

En el sector farmacéutico y biotecnológico, participan en el desarrollo de medicamentos y productos biológicos. En el país esta área está en crecimiento, con un enfoque en la producción de medicamentos genéricos y biotecnología aplicada a la salud y la agricultura.

**Industria Alimentaria:** Otro sector significativo es la industria alimentaria, donde los ingenieros químicos trabajan en el procesamiento y la mejora de productos alimenticios, garantizando estándares de calidad y seguridad.

**Tratamiento de Aguas Residuales:** Los ingenieros químicos también juegan un papel crucial en el tratamiento de aguas residuales y en la gestión de recursos hídricos, trabajando en plantas de tratamiento y proyectos de sostenibilidad ambiental.

**Industria Farmacéutica:** Este sector ofrece oportunidades en la investigación y desarrollo de medicamentos, producción y control de calidad, donde las competencias en química y biotecnología son esenciales.

Estadísticamente, se estima que la distribución de ingenieros químicos en estos sectores es aproximadamente:

- Industria Petroquímica y Energética: 35%
- Industria Alimentaria: 25%
- Tratamiento de Aguas Residuales y Medio Ambiente: 20%
- Industria Farmacéutica: 15%
- Otros Sectores (incluyendo consultoría y academia): 5%

Estos datos reflejan la diversidad y la demanda de ingenieros químicos en múltiples campos, subrayando la versatilidad de la profesión en el contexto ecuatoriano (Ingeniería Química) (Xataka) (Empresas Ecuador) (World Bank).

Figura 3

Ocupaciones Ingeniero Químico



Nota: Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], (2024).

## 1.7. Diferencias y similitudes con otras ramas de la ingeniería y la química pura

Similitudes:

- **Con la Ingeniería:** Comparte con otras ramas de la ingeniería (como la ingeniería mecánica, civil y eléctrica) un enfoque en la aplicación de principios científicos y matemáticos para resolver problemas prácticos. Todas buscan optimizar procesos y productos.
- **Con la Química Pura:** Comparte con la química pura el estudio de las propiedades y comportamientos de las sustancias químicas. Ambos campos profundizan en la comprensión de reacciones químicas, estructuras moleculares y principios termodinámicos.

Diferencias:

- **Con la Ingeniería:** La Ingeniería Química se diferencia en su enfoque específico en procesos químicos y biológicos a escala industrial. Mientras que otras ramas pueden centrarse en estructuras físicas, sistemas

mecánicos o eléctricos, la Ingeniería Química se centra en el diseño y la operación de plantas químicas y biotecnológicas.

- **Con la Química Pura:** La principal diferencia radica en la aplicación práctica. Mientras que la química pura se dedica a la investigación fundamental y teórica, la Ingeniería Química aplica estos principios para desarrollar y optimizar procesos industriales. Los ingenieros químicos transforman descubrimientos científicos en aplicaciones prácticas y productos comerciales.

## 1.8. Tendencias actuales y futuras de la Ingeniería Química

Las tendencias actuales y futuras de la Ingeniería Química en el nuevo siglo están marcadas por la innovación tecnológica, la sostenibilidad y la globalización. La sostenibilidad es una tendencia clave, con un enfoque en desarrollar procesos y productos que minimicen el impacto ambiental, reduzcan emisiones de gases de efecto invernadero y promuevan la economía circular. Esto incluye el reciclaje y reutilización de materiales, así como la utilización de energías renovables en procesos industriales.

La integración de la biotecnología con la ingeniería química está ganando importancia. Esta tendencia incluye el desarrollo de bioprocesos para la producción de biocombustibles, bioplásticos, y productos farmacéuticos.

La ingeniería de tejidos y la biocatálisis están revolucionando la medicina y la producción industrial. La nanotecnología está abriendo nuevas oportunidades en la ingeniería química, mejorando la eficiencia de los catalizadores, desarrollando nuevos materiales con propiedades únicas y mejorando los procesos de separación y purificación. También tiene aplicaciones en la medicina, como en la entrega de medicamentos y la diagnóstica.

La digitalización y la adopción de tecnologías de la Industria 4.0, como el Internet de las Cosas (IoT), el big data y la inteligencia artificial (IA), están transformando la ingeniería química.

Estas tecnologías permiten el monitoreo en tiempo real de procesos industriales, la optimización de la producción y la predicción de fallos, mejorando la eficiencia y la seguridad.

El desarrollo de materiales avanzados, como los polímeros de alto rendimiento, los compuestos de carbono y los materiales inteligentes, está en auge.

Estos materiales tienen aplicaciones en sectores como la automoción, la electrónica, la construcción y la energía. La investigación en materiales avanzados se centra en mejorar sus propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas.

La transición hacia fuentes de energía renovable y soluciones de almacenamiento de energía es una prioridad. Los ingenieros químicos están involucrados en el desarrollo de tecnologías para la producción de hidrógeno, baterías de alta capacidad y sistemas de captura y almacenamiento de carbono (CCS). En el ámbito de la farmacéutica, la tendencia hacia la medicina personalizada está creciendo.

La ingeniería química juega un papel crucial en la fabricación de medicamentos específicos para las necesidades individuales de los pacientes, utilizando tecnologías como la impresión 3D y la fabricación avanzada.

La educación y la capacitación continua son esenciales para que los ingenieros químicos se mantengan al día con las nuevas tecnologías y tendencias. Las universidades y las industrias están colaborando para ofrecer programas de formación y desarrollo profesional que preparen a los ingenieros para los desafíos del futuro.

Estas tendencias reflejan la evolución de la ingeniería química hacia una disciplina más integrada con otras áreas de la ciencia y la tecnología, y su compromiso con la sostenibilidad y la innovación para enfrentar los desafíos del nuevo siglo.

## 1.9. Leyes de la conservación de masa y energía

**Conservación de Masa:** La ley de la conservación de la masa establece que la masa no se crea ni se destruye en un sistema cerrado. En un proceso químico, la masa de los reactivos debe ser igual a la masa de los productos más cualquier acumulación o pérdida en el sistema.

Esta ley es fundamental para el diseño y análisis de procesos en la Ingeniería Química.  $Masa\ de\ entrada = Masa\ de\ salida + Acumulación$

**Conservación de Energía:** La ley de la conservación de la energía, también conocida como el primer principio de la termodinámica, establece que la energía no se crea ni se destruye, sino que se transforma de una forma a otra. En un proceso industrial, la energía total del sistema (incluyendo energía interna, cinética y potencial) debe mantenerse constante, teniendo en cuenta las transferencias de calor y trabajo.

Energía de entrada – Energía de salida = Cambio en la energía interna + Cambio en la energía cinética + Cambio en la energía potencial

## 1.10. Termodinámica y su aplicación en la ingeniería química

La termodinámica es el estudio de la energía, su transformación y su relación con la materia. En Ingeniería Química, la termodinámica se aplica para comprender y predecir el comportamiento de sistemas químicos y físicos, diseñar procesos y equipos, y optimizar la eficiencia energética.

### 1.10.1. Aplicaciones en Ingeniería Química

- **Equilibrio Químico:** La termodinámica ayuda a determinar las condiciones bajo las cuales una reacción química alcanza el equilibrio, permitiendo a los ingenieros diseñar procesos que maximicen la conversión de reactivos en productos.
- **Energía Libre de Gibbs:** Se utiliza para predecir la espontaneidad de las reacciones químicas y el equilibrio entre diferentes fases.
- **Propiedades Termodinámicas:** Conocer las propiedades termodinámicas de las sustancias (como entalpía, entropía y capacidad calorífica) es esencial para diseñar y operar equipos de proceso, como intercambiadores de calor, reactores y columnas de destilación.
- **Ciclos Termodinámicos:** Los ciclos termodinámicos, como el ciclo de Rankine y el ciclo de refrigeración, son fundamentales en la generación de energía y en procesos de refrigeración y calefacción industrial.

## 1.10.2. Principios de transferencia de masa, calor y momentum

El balance de materia y energía es fundamental en la ingeniería química para entender cómo fluyen las sustancias y la energía dentro de un sistema. El balance de materia se basa en la ley de conservación de la masa, que establece que la masa total de las sustancias presentes al inicio de un proceso es igual a la masa total de las sustancias al final del proceso, considerando las entradas y salidas del sistema. Por otro lado, el balance de energía se basa en la ley de conservación de la energía, que establece que la energía total dentro de un sistema cerrado se conserva, considerando las transferencias de calor, trabajo y energía potencial.

### 1. Transferencia de Masa:

La transferencia de masa se refiere al movimiento de componentes de una fase a otra o dentro de la misma fase debido a diferencias de concentración. Es esencial en operaciones unitarias como la destilación, absorción, extracción y secado.

- **Difusión Molecular:** Movimiento de moléculas de una región de alta concentración a una de baja concentración.
- **Convección:** Movimiento de masa debido al flujo de un fluido.
- **Coefficientes de Transferencia de Masa:** Determinan la tasa de transferencia de masa en procesos de separación.

### 2. Transferencia de Calor:

La transferencia de calor se refiere al movimiento de energía térmica debido a una diferencia de temperatura.

Es crucial en el diseño y operación de equipos como intercambiadores de calor, reactores y hornos.

- **Conducción:** Transferencia de calor a través de un material sólido.
- **Convección:** Transferencia de calor entre una superficie y un fluido en movimiento.
- **Radiación:** Transferencia de calor a través de ondas electromagnéticas.
- **Ley de Fourier:** Describe la tasa de transferencia de calor por conducción.  $q = -k \Delta T$

Donde “ $q$ ” es el flujo de calor, “ $k$ ” es la conductividad térmica y  $\Delta T$  es el gradiente de temperatura.

### 3. Transferencia de Momentum:

La transferencia de momentum se refiere al movimiento de momentum entre las capas de un fluido debido a la acción de fuerzas externas o gradientes de velocidad.

Es fundamental en la mecánica de fluidos y se aplica en el diseño de equipos como bombas, compresores y sistemas de tuberías.

- **Viscosidad:** Propiedad del fluido que mide su resistencia al flujo.
- **Ley de Newton de la Viscosidad:** Relaciona el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad en un fluido.  $T = \mu \frac{dv}{dy}$

donde  $T$  es el esfuerzo cortante,  $\mu$  es la viscosidad dinámica y  $\frac{dv}{dy}$  es el gradiente de velocidad.

- **Ecuaciones de Navier-Stokes:** Describen el flujo de fluidos y son fundamentales para la modelización de la transferencia de momentum.

Estos principios básicos son fundamentales para el diseño, análisis y optimización de procesos en la Ingeniería Química, permitiendo a los ingenieros desarrollar soluciones eficientes y efectivas en diversas aplicaciones industriales.

### 1.10.3. Importancia del balance de materia y energía:

- **Diseño de procesos:** Permite diseñar sistemas eficientes que minimicen pérdidas y maximicen la producción.
- **Optimización de operaciones:** Ayuda a identificar puntos críticos en los procesos para mejorar la eficiencia energética y la calidad del producto.
- **Seguridad y cumplimiento normativo:** Es crucial para asegurar que los procesos se desarrollen de manera segura y cumpliendo con las regulaciones ambientales y de seguridad.

### 1.10.4. Formulación y aplicación de balances de materia y energía:

Para formular un balance de materia, se deben considerar todas las corrientes de entrada y salida de materiales dentro del sistema. Esto implica conocer las

cantidades de cada componente en cada corriente, así como las transformaciones que experimentan los materiales durante el proceso.

Para el balance de energía, se deben considerar las entradas y salidas de energía en forma de calor, trabajo y energía potencial. Es fundamental tener en cuenta la eficiencia de las transferencias de calor y la utilización de la energía en el proceso.

Ejemplos prácticos de aplicación:

- **Industria alimentaria:** Calcular el balance de materia y energía para optimizar la producción de alimentos y minimizar los costos energéticos.
- **Industria farmacéutica:** Garantizar que los procesos de producción cumplan con las especificaciones de calidad y eficiencia.
- **Industria petroquímica:** Optimizar los procesos de refinación para maximizar la producción de productos derivados del petróleo y reducir las emisiones de gases contaminantes.

### 1.11. Unidades y dimensiones utilizadas en la ingeniería química: Sistema internacional de unidades (SI) y otras unidades comunes:

En ingeniería química, se utiliza el Sistema Internacional de Unidades (SI) como estándar para la medición de cantidades físicas como masa, longitud, tiempo, temperatura, cantidad de sustancia, intensidad luminosa y corriente eléctrica.

Algunas unidades comunes en ingeniería química incluyen:

- **Masa:** Kilogramo (kg), gramo (g)
- **Volumen:** Metro cúbico (m<sup>3</sup>), litro (L)
- **Temperatura:** Kelvin (K), Celsius (°C)
- **Presión:** Pascal (Pa), atmósfera (atm)
- **Energía:** Julios (J), calorías (cal)

### 1.12. Conversión entre unidades:

Es fundamental para un ingeniero químico poder convertir entre diferentes unidades para realizar cálculos precisos y comparaciones. Por ejemplo, convertir temperatura de Celsius a Kelvin utilizando la fórmula  $T(K) = T(^{\circ}C) + 273.15$

$T(^{\circ}\text{C}) + 273.15T(\text{K})=T(^{\circ}\text{C})+273.15$ , o convertir unidades de volumen como litros a metros cúbicos multiplicando por  $10^{-3}$ .

### 1.13. Aplicación en el contexto de procesos químicos:

La elección adecuada de unidades es crucial para la correcta interpretación de los resultados de los cálculos y para la comunicación efectiva con colegas y otros profesionales. Las dimensiones físicas en la ingeniería química, como masa, longitud y tiempo, se utilizan para describir propiedades de materiales, flujos de proceso y especificaciones de equipos.

Este desarrollo proporciona una base sólida sobre los principios fundamentales de balance de materia y energía, así como el uso adecuado de unidades y dimensiones en la ingeniería química. Estos conocimientos son esenciales para la comprensión y el diseño efectivo de procesos en diversos sectores industriales. Final del formulario

### 1.14. Introducción a la modelización y simulación de procesos

**Modelización de Procesos:** La modelización de procesos consiste en crear representaciones matemáticas de sistemas químicos y físicos. Estas representaciones pueden ser utilizadas para entender, predecir y optimizar el comportamiento de los procesos industriales. Los modelos pueden ser:

- **Empíricos:** Basados en datos experimentales) o mecánicos (basados en principios fundamentales de la física y la química).
- **Estáticos:** Describen el comportamiento del proceso en un estado estacionario.
- **Dinámicos:** Consideran cambios con el tiempo y son esenciales para el control de procesos y la simulación transitoria.

**Simulación de Procesos:** La simulación de procesos utiliza modelos matemáticos para replicar el comportamiento de un proceso bajo diferentes condiciones operativas.

Las herramientas de simulación permiten a los ingenieros probar escenarios sin necesidad de realizar costosos y arriesgados experimentos a escala real.

Software de Simulación Común:

- **ASPEN Plus:** Utilizado para la simulación de procesos químicos y petroquímicos.
- **HYSYS:** Amplio uso en la simulación de procesos de petróleo y gas.
- **COMSOL Multiphysics:** Permite la simulación de fenómenos físicos acoplados.
- **MATLAB:** Herramienta versátil para la modelización, simulación y análisis de datos.

## 1.15. Principios de diseño de experimentos

**Diseño de Experimentos (DOE):** El DOE es una metodología utilizada para planificar, realizar y analizar experimentos de manera eficiente. Permite a los ingenieros determinar las relaciones entre factores y respuestas, optimizar procesos y mejorar la calidad de los productos. Los principios clave del DOE incluyen:

- **Aleatorización:** Asignar tratamientos a unidades experimentales de manera aleatoria para minimizar el sesgo.
- **Replicación:** Repetir experimentos para obtener una estimación precisa del error experimental.
- **Bloqueo:** Agrupar unidades experimentales en bloques homogéneos para reducir la variabilidad debida a factores no controlados.

### 1.15.1. Tipos de Diseños Experimentales

- **Diseños Completamente Aleatorizados:** Cada unidad experimental recibe un tratamiento asignado al azar.
- **Diseños Factoriales:** Exploran todas las posibles combinaciones de niveles de factores. Pueden ser completos o fraccionados.
- **Diseños de Superficie de Respuesta:** Utilizados para optimizar procesos y encontrar las condiciones óptimas de operación.
- **Diseños Anidados y Jerárquicos:** Utilizados cuando hay varios niveles de agrupación en los factores experimentales.

## 1.16. Técnicas de análisis y optimización de procesos

### 1.16.1. Análisis de Procesos:

El análisis de procesos implica evaluar el desempeño de los procesos existentes para identificar áreas de mejora. Las técnicas comunes incluyen:

- **Análisis de Causa-Raíz:** Identifica las causas fundamentales de los problemas en el proceso.
- **Análisis de Valor Agregado:** Evalúa cada paso del proceso para determinar su contribución al valor final.
- **Análisis de Capacidad del Proceso:** Mide la capacidad del proceso para producir resultados dentro de las especificaciones.

### 1.16.2. Optimización de Procesos:

La optimización de procesos busca mejorar el rendimiento del proceso mediante la modificación de variables de operación. Las técnicas incluyen:

- **Programación Matemática:** Utiliza técnicas como la programación lineal y no lineal para encontrar las condiciones óptimas.
- **Método de los Gradientes:** Utiliza derivadas para encontrar el punto óptimo de una función objetivo.
- **Algoritmos Evolutivos:** Técnicas inspiradas en la evolución natural, como los algoritmos genéticos, para resolver problemas de optimización complejos.

### 1.16.3. Herramientas de Optimización Común:

- **Lingo:** Software para la resolución de problemas de programación matemática.
- **GAMS (General Algebraic Modeling System):** Herramienta para la modelización y resolución de problemas de optimización.
- **MATLAB:** Amplio uso en la optimización mediante herramientas como la caja de herramientas de optimización.

#### 1.16.4. Aplicaciones en Ingeniería Química:

- **Optimización de Operaciones Unitarias:** Ajuste de variables para mejorar la eficiencia de procesos como la destilación, la absorción y la extracción.
- **Diseño de Reactores Químicos:** Optimización de las condiciones de operación para maximizar la conversión y la selectividad.
- **Planificación de la Producción:** Optimización de la programación de producción para minimizar costos y tiempos de inactividad.
- **Gestión de la Energía:** Optimización del uso de energía en plantas industriales para reducir costos y emisiones.

En resumen, las herramientas y métodos de modelización, diseño de experimentos, y optimización de procesos son fundamentales para los ingenieros químicos.

Permiten mejorar la eficiencia, la calidad y la sostenibilidad de los procesos industriales, contribuyendo al desarrollo de soluciones innovadoras y competitivas.

## Autoevaluación

Subraye las respuestas correctas

1) ¿En qué siglo se consolidó la Ingeniería Química como una disciplina independiente?

- A) Siglo XVIII
- B) Siglo XIX
- C) Siglo XX
- D) Siglo XXI



2) ¿Cuál de los siguientes eventos es considerado un hito importante en la historia de la Ingeniería Química?

- A) La invención del motor de vapor
- B) La formulación de la ley de los gases ideales
- C) La creación del primer reactor de polímeros
- D) La síntesis del amoníaco por el proceso Haber-Bosch

3) ¿Quién es conocido por su contribución al desarrollo del proceso de destilación?

- A) Carl Bosch
- B) George E. Davis
- C) Fritz Haber
- D) Lewis Mumford

4) ¿Cuál de las siguientes universidades en Ecuador ofrece un programa destacado en Ingeniería Química?

- A) Universidad de Guayaquil
- B) Universidad Politécnica Nacional
- C) Universidad Central del Ecuador
- D) Todas las anteriores

- 5) ¿Cuál de las siguientes es una similitud entre la Ingeniería Química y la Química Pura?
- A) Ambas se enfocan en la investigación básica sin aplicaciones industriales.
  - B) Ambas estudian las propiedades de los materiales a nivel molecular.
  - C) Ambas disciplinas diseñan y construyen maquinaria industrial.
  - D) Ambas se centran en la gestión de recursos naturales.
- 6) ¿Cuál de las siguientes es una tendencia actual en la Ingeniería Química?
- A) El uso de carbón como principal fuente de energía
  - B) La minimización de residuos industriales
  - C) La desalinización del agua de mar
  - D) El desarrollo de nuevos colorantes sintéticos.
- 7) La ley de conservación de masa establece que:
- A) La masa no puede ser creada ni destruida en un sistema cerrado
  - B) La masa puede ser transformada en energía
  - C) La energía total de un sistema es constante
  - D) La masa se conserva solo en reacciones químicas endotérmicas.
- 8) ¿Cuál de las siguientes es una aplicación de la termodinámica en la ingeniería química?
- A) Diseño de intercambiadores de calor
  - B) Creación de modelos de simulación
  - C) Análisis de propiedades materiales
  - D) Desarrollo de procesos de biotecnología.
- 9) ¿Qué principio termodinámico se aplica en la destilación?
- A) Ley de Boyle
  - B) Segunda ley de la termodinámica
  - C) Ley de Dalton
  - D) Ley de Charles

- 10) ¿Cuál de las siguientes describe mejor la transferencia de masa?
- A) Movimiento de energía térmica de una región de alta temperatura a una región de baja temperatura.
  - B) Movimiento de moléculas o átomos desde una región de alta concentración a una región de baja concentración.
  - C) Movimiento de cantidades de movimiento entre objetos o fluidos debido a fuerzas aplicadas.
  - D) Ninguna de las anteriores
- 11) ¿Cuál de los siguientes programas se utiliza comúnmente para la simulación de procesos en ingeniería química?
- A) MATLAB
  - B) AutoCAD
  - C) Aspen Plus
  - D) SolidWorks
- 12) ¿Cuál es la principal ventaja de utilizar un diseño factorial completo en experimentos?
- A) Menor número de corridas experimentales
  - B) Permite evaluar todas las interacciones entre factores
  - C) Requiere menos tiempo para realizarse
  - D) Es más económico.
- 13) ¿Qué técnica se utiliza para encontrar el mejor rendimiento de un proceso químico?
- A) Análisis de regresión
  - B) Simulación de Monte Carlo
  - C) Optimización matemática
  - D) Análisis de varianza (ANOVA)

Relacione y subraye la respuesta correcta.

1) Las siguientes disciplinas con su característica principal:

1) Ingeniería Mecánica	A) Estudio de la interacción de sustancias químicas para desarrollar productos y procesos industriales.
2) Ingeniería Química	B) Aplicación de principios físicos y matemáticos en el diseño de maquinaria.
3) Ingeniería Ambiental	C) Investigación de la composición, estructura y propiedades de la materia.
4) Química Pura	D) Protección del medio ambiente a través del control de la contaminación y la gestión de recursos naturales.

A) 1B, 2A, 3D, 4C

B) 1 A, 2B, 3C, 4D

C) 1C, 2D, 3 A, 4B

D) 1 B, 2C, 3D, 4 A

2) Relaciona y subraya la respuesta correcta. El tipo de transferencia con su descripción:

1) Transferencia de Calor	A) Movimiento de moléculas o átomos desde una región de alta concentración a una región de baja concentración. (Transferencia de Masa)
2) Transferencia de Momentum	B) Movimiento de energía térmica de una región de alta temperatura a una región de baja temperatura. (Transferencia de Calor)
3) Transferencia de Masa	C) Movimiento de cantidades de movimiento entre objetos o fluidos debido a fuerzas aplicadas. (Transferencia de Momentum)

A) 1B, 2C, 3A

B) 1 A, 2B, 3C

C) 1C, 2D, 3A

D) 1 B, 2C, 3D

## Evaluación por competencias

**Objetivo de la Evaluación por Competencias:** Evaluar la comprensión de los estudiantes sobre la historia, fundamentos teóricos y relevancia de la ingeniería química, así como su capacidad para analizar operaciones unitarias y aplicar leyes de conservación en procesos químicos.



Competencia 1: Conocimiento Técnico

Define la Ingeniería Química y discute su evolución histórica. ¿Qué factores han influido en su desarrollo?

**Criterio de Evaluación:** Conocimiento sobre la historia y fundamentos de la Ingeniería Química.

Competencia 2: Análisis de Datos

Elabora un balance de materia simple para un proceso de destilación, identificando las entradas y salidas. Explica su importancia en el diseño de procesos.

**Criterio de Evaluación:** Capacidad para aplicar conceptos de balances de materia en un contexto práctico.

Competencia 3: Diseño de Experimentos

Selecciona un tipo de diseño experimental y describe sus características. ¿Cómo influye en la obtención de resultados en Ingeniería Química?

**Criterio de Evaluación:** Comprensión del diseño experimental y su aplicación en el ámbito químico.

Competencia 4: Sostenibilidad

Analiza el impacto de los procesos químicos en el medio ambiente. Proporciona ejemplos de cómo la Ingeniería Química puede mitigar estos efectos.

**Criterio de Evaluación:** Habilidad para conectar la ingeniería con la sostenibilidad ambiental.

Competencia 5: Comunicación

Redacta un resumen (300 palabras) sobre la importancia de la termodinámica en la Ingeniería Química, utilizando un lenguaje claro para un público general.

**Criterio de Evaluación:** Capacidad para comunicar conceptos técnicos de manera accesible y clara.

## Glosario

- **Industria química:** 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. Las transformaciones suelen implicar cambios de composición y de contenido energético. Cuando las materias primas proceden del petróleo, el término aplicado es industria petroquímica.
- **Operación unitaria:** Cada una de las operaciones específicas que se llevan a cabo sistemáticamente en la industria química, y que son esencialmente las mismas con independencia del proceso en el que se aplican. Son ejemplos de operaciones unitarias la destilación, la extracción, la filtración, la evaporación, etc. Sinónimo: operación básica.
- **Residuo:** Subproducto o materia residual de un proceso, sin valor o interés, que además puede representar un riesgo para el medio ambiente.
- **-Subproducto:** Producto secundario de una reacción química, que generalmente no es deseado, por su menor interés o por la complicación que puede ocasionar en el proceso.

Recomendamos observar los siguientes videos para facilitarle el aprendizaje de los contenidos expuestos en el presente capítulo:

Links: Introducción a la Ingeniería Química

<https://www.youtube.com/watch?v=RVX5KTMqMDA>

[https://www.youtube.com/watch?v=KFi-H\\_j9gqU](https://www.youtube.com/watch?v=KFi-H_j9gqU)

<https://www.youtube.com/watch?v=5rCgklbkD5w>

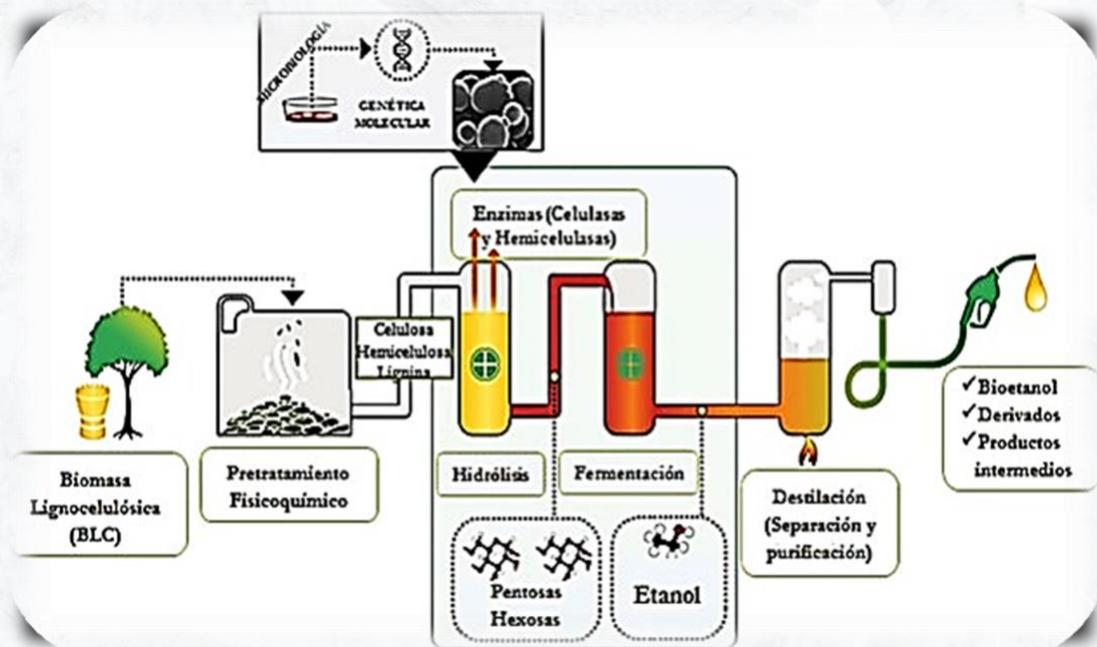
<https://www.youtube.com/watch?v=RkzkWJTHZlq>

<https://www.youtube.com/watch?v=cuuznGZYQNw>



# CAPÍTULO 02

## PROCESOS QUÍMICOS





## Procesos Químicos

*"Los científicos estudian el mundo tal como es, los ingenieros crean el mundo que nunca ha sido"*

*Theodore von Kármán*

En este capítulo se consideran aspectos generales que caracterizan a un proceso químico, su situación actual y sus perspectivas de futuro. El enfoque es muy general, se hace hincapié en el impacto de los procesos químicos sobre el medio ambiente y la necesidad de racionalizar el uso de los recursos energéticos que se requieren, apuntando algunas tendencias y recomendaciones al respecto.

### 2.1. Introducción

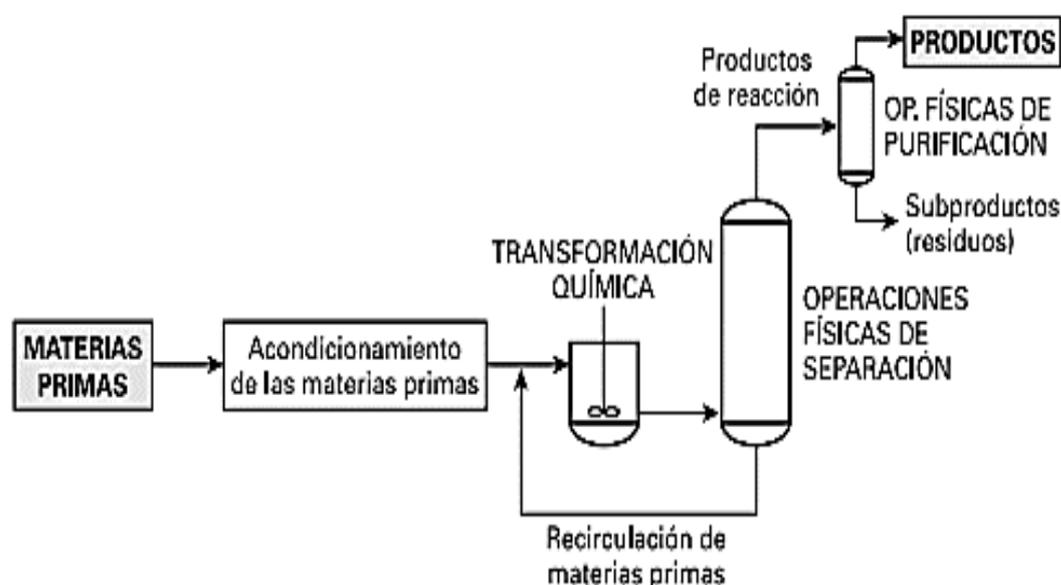
Los procesos químicos son la base de la ingeniería química y abarcan una amplia gama de operaciones y transformaciones en la industria. Desde la síntesis de productos químicos básicos hasta la fabricación de materiales avanzados y productos farmacéuticos, estos procesos son fundamentales para numerosos sectores industriales.

Para poder efectuar la transformación de las materias primas de partida en los productos deseados son necesarias una serie de operaciones interconectadas entre sí y que en conjunto constituyen lo que se conoce como un proceso químico. En general, un proceso químico implica reacciones químicas y operaciones físicas de separación o tratamiento. Estas últimas pueden ser una etapa previa de acondicionamiento de las materias primas o una etapa posterior a la reacción química, para separar el producto principal de los subproductos y residuos. Los subproductos pueden transformarse en otros productos útiles. Además, los productos residuales que se originan durante un proceso químico deben ser tratados adecuadamente antes de su eliminación final o vertido al exterior. Por su parte, la materia prima no convertida debe ser recirculada a la entrada del sistema de reacción para mejorar su aprovechamiento.

Cualquier producto químico ha de diseñarse sobre la base de sus posibilidades comerciales (capacidad de producción) y de otros aspectos como disponibilidad y coste de materias primas (selección de la fuente de suministro), tecnología disponible (elección del procedimiento), servicios auxiliares (electricidad, vapor de agua, etc.), consideraciones socio-económicas (disponibilidad y coste de la mano de obra, regulaciones legales, mercado de subproductos, etc.) y consideraciones ambientales (normativa legal, etc.) que, por lo general, determinan la localización geográfica de un procedimiento de fabricación.

**Figura 4:**

*Esquema de un proceso químico*



*Nota:* Introducción a la Ingeniería química Editorial Síntesis, S. A. Vallehermoso, 34 - 28015 Madrid.

Los factores que intervienen en el desarrollo de proceso químico son diversos, entre ellos cabe destacar el factor económico, pues la fabricación industrial de cualquier producto químico debe resultar rentable. Así, por ejemplo, los costes de un determinado proceso químico de fabricación pueden disminuirse cuando se den algunas de las siguientes circunstancias:

- Cambio de una materia prima determinada por otra de mayor disponibilidad (menor coste, mayor abundancia, etc.) o de mayor calidad (pureza).
- Reducción del número de operaciones o etapas necesarias para la obtención de un determinado producto (simplificación del proceso), así como el cambio de procesos discontinuos a continuos.

- Disminución de la formación de subproductos, al conseguir un aumento de la selectividad y del rendimiento de las reacciones, con la eliminación en lo posible de reacciones secundarias o competitivas.

El uso de catalizadores idóneos bajo unas condiciones de operación favorables ha determinado, una mejora considerable de los procesos productivos actuales.

- Desarrollo de los procesos de separación mediante el uso de nuevas técnicas o mejora de las existentes.

Hoy en día la tendencia de incorporar a los procesos químicos etapas en las que intervienen organismos vivos (microorganismos), a veces denominados “bio-procesos”, aprovechando la gran capacidad y selectividad de los procesos biológicos naturales, que además no requieren condiciones extremas de temperatura o presión.

Los procesos de fermentación en la industria y tecnología de los alimentos, los procesos de depuración biológica de aguas residuales, los procesos químicos catalíticos que usan como catalizadores enzimas inmovilizadas son algunos ejemplos destacables de “bio-procesos”.

Debe destacarse que el desarrollo y establecimiento de nuevos procesos químicos está determinado por la capacidad de disponer de materias primas adecuadas y de desarrollar tecnologías más avanzadas y ambientalmente aceptables para obtener el producto deseado.

Por lo cual, es importante señalar los grandes esfuerzos realizados tanto por los investigadores químicos en la síntesis de nuevas moléculas y de nuevas rutas de síntesis química (más directas y selectivas). La estrecha colaboración entre la ciencia (la investigación) y la industria (sector productivo) ha generado siempre notables beneficios para el desarrollo industrial, como demuestra la historia.

**Figura 5**

*Factores para el desarrollo de un proceso químico.*



*Nota:* Introducción a la Ingeniería química Editorial Síntesis, S.A. Vallehermoso,34-28015 Madrid.

## 2.2. Los procesos químicos en la actualidad y perspectivas de futuro

En la actualidad, los procesos químicos se han vuelto más eficientes y sostenibles gracias a avances tecnológicos como la automatización, la inteligencia artificial y la robótica. La digitalización de los procesos ha permitido una mayor precisión en el control de variables, la optimización de recursos y la reducción de tiempos de producción.

Las perspectivas de futuro en los procesos químicos incluyen la incorporación de tecnologías emergentes como la biotecnología y la nanotecnología para desarrollar productos más eficientes y respetuosos con el medio ambiente. La búsqueda de procesos más limpios, la economía circular y la reducción de emisiones son objetivos clave en la evolución de la industria química.

## 2.3. Impacto de los procesos químicos sobre el medio ambiente

Si bien los procesos químicos han impulsado el desarrollo industrial, también han generado preocupaciones ambientales debido a la emisión de gases contaminantes, la generación de residuos peligrosos y la degradación de ecosistemas. El desarrollo de tecnologías de mitigación y control de

contaminantes, así como la adopción de prácticas de producción más sostenibles, son aspectos clave para reducir este impacto.

El uso de energías renovables, la implementación de sistemas de gestión ambiental y la adopción de tecnologías de captura y almacenamiento de carbono son algunas de las estrategias utilizadas para minimizar la huella ambiental de los procesos químicos. Además, se promueve la investigación y desarrollo de procesos más eficientes y limpios, así como la educación y concienciación sobre la importancia de la sostenibilidad en la industria química.

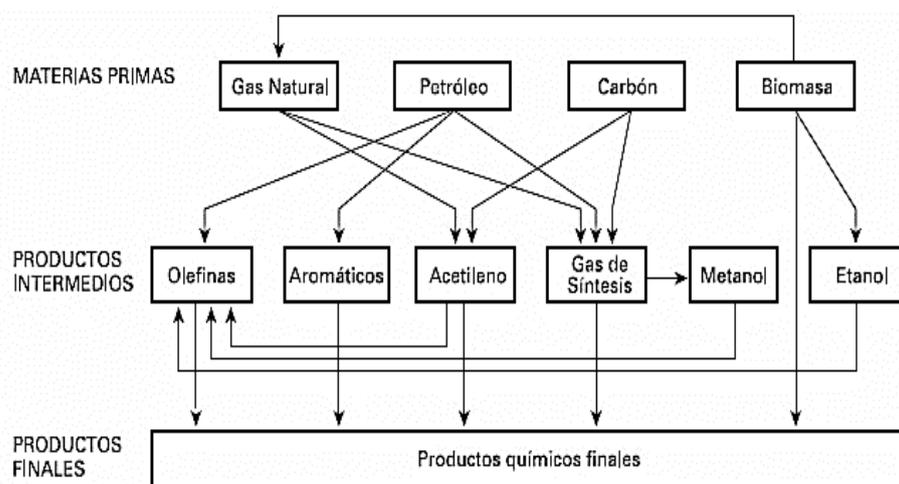
Gran parte de la industria química actual está basada en el gas natural y el petróleo, por lo que para alargar sus reservas debe contenerse su consumo. En este sentido, la adopción de algunas medidas que a continuación se indican, ayudarían a la consecución de tal objetivo:

- Reducción del consumo de petróleo como combustible, ya que aproximadamente sólo el 10- 15% del petróleo consumido se usa como materia prima y el resto para producción de energía (motores de combustión interna, combustible industrial, etc.).
- Consecución de mayores eficacias y rendimientos energéticos mediante la recuperación de calor de otras fases del proceso (reacciones exotérmicas, por ejemplo), la prevención de pérdidas energéticas (aislamientos) y la mejora de los sistemas de producción de energía (sistemas de cogeneración para la obtención conjunta de energía mecánica y térmica).
- Desarrollo de nuevas fuentes energéticas que posibilite un aumento de su contribución al consumo energético actual. Entre los cuales tenemos los nuevos sistemas de producción energética (eólica, solar, geotérmica, etc.) como las fuentes de energía renovable (combustión de residuos forestales y agrícolas, residuos sólidos urbanos, etc.)
- Aprovechamiento integral de las materias primas y productos residuales, mediante la mejora de las condiciones de operación del proceso, la incorporación de técnicas que permitan la recuperación y/o reutilización de residuos, así como la introducción de nuevos procesos productivos, o modificación de los ya existentes, que propicien una menor generación de residuos.

En definitiva, un cambio hacia lo que hoy se conoce como tecnologías limpias. Diversificación de las fuentes de materias primas actuales en la que se contemplen nuevas opciones para un próximo futuro. La ampliación del número de materias primas susceptibles de aprovechamiento como el carbón o los recursos renovables, mediante procesos tecnológicos respetuosos con el medio ambiente, permitiría aumentar el abanico de posibilidades de utilización.

**Figura 6**

*Productos químicos finales*



*Nota:* Introducción a la Ingeniería química Editorial Síntesis, S. A. Vallehermoso, 34 - 28015 Madrid.

## 2.4. Descripción, a modo de ejemplo, de un proceso químico-industria

Un ejemplo destacado de proceso químico en la industria es la fabricación de polímeros como el polietileno. Este proceso implica la polimerización de monómeros de etileno para producir polietileno, un polímero ampliamente utilizado en envases, tuberías, films y otros productos plásticos.

El proceso de fabricación de polietileno involucra etapas como la obtención y purificación del etileno, su polimerización mediante catalizadores específicos y la extrusión o moldeo del polímero en la forma deseada. Se emplean tecnologías avanzadas de control de procesos, como la espectroscopía infrarroja y la cromatografía, para asegurar la calidad y las propiedades del polietileno producido.

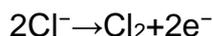
Otro ejemplo que podríamos citar es en la industria es la producción simultánea de cloro y sosa cáustica a través del proceso de electrólisis de salmuera. Este proceso es fundamental en la fabricación de productos químicos como el PVC (policloruro de vinilo), productos de limpieza, papel y textiles.

El proceso comienza con la salmuera, una solución acuosa de cloruro de sodio (NaCl), que se introduce en una celda electrolítica. Esta celda está dividida por una membrana semipermeable que separa el ánodo y el cátodo. Al aplicar una corriente eléctrica continua a través de la celda, se descompone el agua de la salmuera en sus componentes básicos.

En el cátodo, se produce la reducción del agua para formar hidrógeno gaseoso (H<sub>2</sub>) y sosa cáustica (hidróxido de sodio, NaOH) según la reacción:



En el ánodo, ocurre la oxidación del cloruro (Cl<sup>-</sup>) para producir cloro gaseoso (Cl<sub>2</sub>) según la reacción:



Ambos productos, cloro y sosa cáustica, se separan y se purifican después de la electrólisis. El cloro se utiliza en la producción de PVC, productos químicos desinfectantes y blanqueadores, mientras que la sosa cáustica tiene numerosas aplicaciones en la industria, como en la fabricación de papel, textiles, detergentes y productos farmacéuticos.

Este ejemplo muestra cómo un proceso químico como la electrólisis de salmuera permite la producción eficiente de dos productos clave en la industria química, resaltando la importancia de la ingeniería química en la obtención de productos esenciales para la sociedad.

Este ejemplo ilustra cómo los procesos químicos en la industria no solo son cruciales para la fabricación de productos cotidianos, sino también para la innovación y el desarrollo de materiales avanzados con aplicaciones en diversos sectores.

## Autoevaluación

Subraye la respuesta correcta

1) ¿Qué son los procesos químicos?

- A) Métodos para manipular sustancias sin cambios químicos
- B) Métodos para transformar materias primas mediante reacciones químicas
- C) Métodos para separar mezclas físicamente
- D) Ninguna de las anteriores



2) ¿Cuál es la diferencia entre un proceso químico y uno físico?

- A) Un proceso químico cambia la composición química; uno físico no
- B) Un proceso físico involucra energía química; uno químico no
- C) No hay diferencia, ambos son iguales
- D) Ninguna de las anteriores

3) ¿Qué ejemplos son procesos químicos comunes?

- A) Cristalización y destilación
- B) Fermentación y fotosíntesis
- C) Filtración y evaporación
- D) Ninguna de las anteriores

4) ¿Cómo contribuyen los avances tecnológicos a mejorar los procesos químicos industriales?

- A) Aumentando los costos de producción
- B) Reduciendo la eficiencia energética
- C) Mejorando la sostenibilidad y la eficiencia
- D) Ninguna de las anteriores

5) ¿Cuáles son las tendencias emergentes en la industria de procesos químicos?

- A) Biología molecular y tecnología analítica
- B) Aumento en el uso de combustibles fósiles

- C) Reducción en el uso de tecnologías digitales  
 D) Ninguna de las anteriores
- 6) ¿Cuál es uno de los principales objetivos de los procesos químicos industriales?
- A) Minimizar el impacto ambiental  
 B) Maximizar el consumo de recursos naturales  
 C) Aumentar la complejidad de los productos  
 D) Reducir la eficiencia energética
- 7) ¿Qué aspecto es crucial para evaluar el impacto ambiental de los procesos químicos?
- A) La rentabilidad económica  
 B) La cantidad de empleados involucrados  
 C) La cantidad de desechos generados  
 D) El tamaño físico de la planta industrial
- 8) ¿Qué perspectiva de futuro se está explorando en los procesos químicos actuales?
- A) Reducir la automatización  
 B) Aumentar el uso de materias primas no renovables  
 C) Incorporar tecnologías verdes y sostenibles  
 D) Aumentar la producción sin considerar el impacto ambiental
- 9) ¿Qué tipo de proceso químico implica la transformación de materias primas en productos mediante reacciones químicas?
- A) Proceso de separación  
 B) Proceso de formulación  
 C) Proceso de purificación  
 D) Proceso de síntesis
- 10) ¿Cuál es una de las principales preocupaciones ambientales asociadas con los procesos químicos industriales?
- A) La eficiencia energética

- B) La calidad del producto final
- C) El costo de los materiales
- D) La emisión de contaminantes

2) Relacione y subraye la respuesta correcta

1. Método utilizado para transformar materias primas mediante reacciones químicas.	a) Evaporación
2. Proceso que utiliza evaporación para separar una sustancia sólida de un líquido.	b) Proceso químico
3. Proceso que convierte la leche en yogur utilizando bacterias.	c) Proceso físico
4. Procesos que implican separar los componentes de una mezcla utilizando diferencias en sus puntos de ebullición.	d) Fermentación
5. Cambio en la forma o estado físico de la materia sin alterar su composición química.	e) Destilación

- A) 1b, 2 a, 3d, 4e, 5c
- B) 1 a, 2b, 3c, 4d, 5e
- C) 1e, 2c, 3b, 4 a, 5d
- D) 1d, 2e, 3 a, 4c, 5b

3) Relacione y subraye la respuesta correcta

1. Uso de enzimas y microorganismos para producir productos químicos.	a. Energías alternativas
2. Utilización de energías limpias y renovables en procesos industriales.	b. Digitalización
3. Desarrollo de métodos para minimizar la generación de residuos y emisiones.	c. Sostenibilidad
4. Aplicación de tecnología digital para mejorar la eficiencia y la gestión de procesos.	d. Biotecnología
5. Utilización de materias primas renovables en lugar de fuentes no renovables.	e. Química verde

- A) 1d, 2 a, 3c, 4b, 5e
- B) 1 a, 2c, 3d, 4e, 5b
- C) 1e, 2b, 3 a, 4c, 5d
- D) 1c, 2d, 3b, 4 a, 5e

4) Relacione cada etapa del proceso químico con su descripción:

1.Reacción química	a) Etapa donde se eliminan impurezas y se obtiene el producto deseado en estado puro.
2.Separación	b) Etapa donde se combinan diferentes materias primas para obtener el producto final.
3. Purificación	c) Etapa donde se separan los diferentes componentes de la mezcla obtenida en la reacción química.
4.Formulación y envasado	d) Etapa donde se lleva a cabo la transformación de las materias primas mediante reacciones químicas.

- A) 1d, 2c, 3 a, 4b
- B) 1 a, 2b, 3d, 4c
- C) 1b, 2 a, 3c, 4d
- D) 1c, 2d, 3b, 4a

## Evaluación por competencias

**Objetivo de la Evaluación por Competencias:** Evaluar la comprensión de los estudiantes sobre los procesos químicos actuales, su impacto ambiental y las perspectivas futuras, así como su capacidad para describir ejemplos de procesos en la industria química.



**Competencia 1: Conocimiento Técnico**

Define qué son los procesos químicos. ¿Cuáles son sus características principales y su importancia en la industria actual?

**Criterio de Evaluación:** Conocimiento claro sobre la definición y características de los procesos químicos.

**Competencia 2: Análisis de Datos**

Analiza un proceso químico específico que se utiliza en la industria actual. Describe su flujo de materiales y los cambios que ocurren.

**Criterio de Evaluación:** Capacidad para analizar y representar el flujo de un proceso químico.

**Competencia 3: Diseño de Experimentos**

Elige un proceso químico industrial y describe cómo se podría diseñar un experimento para mejorar su eficiencia o reducir costos.

**Criterio de Evaluación:** Comprensión del diseño experimental aplicado a un proceso específico.

**Competencia 4: Sostenibilidad**

Examina el impacto ambiental de un proceso químico específico. ¿Qué medidas se pueden implementar para mitigar este impacto?

**Criterio de Evaluación:** Habilidad para identificar y proponer soluciones a los problemas ambientales asociados con los procesos químicos.

**Competencia 5: Comunicación**

Escribe un breve informe (300 palabras) sobre las perspectivas futuras de los procesos químicos, enfocándote en la sostenibilidad y la innovación.

**Criterio de Evaluación:** Capacidad para comunicar ideas sobre el futuro de los procesos químicos de manera clara y coherente.

## Glosario

- **Bio-proceso:** Proceso químico en el que intervienen organismos vivos (microorganismos), aprovechando la gran capacidad y selectividad de los procesos biológicos naturales. Suelen desarrollarse en condiciones suaves de temperatura, si bien requieren un cuidadoso control de las condiciones de operación. Ejemplos: procesos de fermentación alcohólica, de depuración biológica de aguas residuales, etc.
- **Proceso químico:** Sucesión ordenada de operaciones físicas y químicas interconectadas con las que se transforman unos productos en otros a escala industrial. El número y variedad de los procesos químicos es considerable, constituyendo su conjunto el núcleo de la industria química. Ejemplos: fabricación de ácido nítrico, fraccionamiento del petróleo crudo, gasificación del carbón, etc.
- **Tecnología limpia:** Tecnología no contaminante, que no genera residuos ni produce emisiones de sustancias nocivas para el medio ambiente, en comparación con otras tecnologías clásicas que sí producen dichos efectos. Ejemplos: combustión de hidrógeno, sistemas de calefacción solar, producción de energía eléctrica fotovoltaica, etc.

Recomendamos observar los siguientes videos para facilitarle el aprendizaje de los contenidos expuestos en el presente capítulo:

Links: Procesos Químicos

<https://www.youtube.com/watch?v=sUe0XYDtNNc>

<https://www.youtube.com/watch?v=AVmB38KX8GQ>

<https://www.youtube.com/watch?v=b2k1YXVSBYQ>

<https://www.youtube.com/watch?v=n0ltnhukl8o>

<https://www.youtube.com/watch?v=SAcAJd1fCn8>



# CAPÍTULO 03

## OPERACIONES BÁSICAS EN INGENIERÍA QUÍMICA





## Operaciones Básicas en Ingeniería Química

*“La vida es una reacción química que solo requiere de equilibrio”*

*Priyavrat Gupta.*

En este capítulo se presenta primeramente terminologías que nos ayudaran a ir conociendo el concepto de operación básica y a describir los tipos de operaciones básicas atendiendo a diversos factores: dependencia del tiempo, modos de producirse el contacto entre fases y tipos de flujo que corresponden a la circulación de las corrientes en los equipos. Asimismo, se clasifican las operaciones según diversos criterios, como el tipo de transformación que se produce en las mismas, la superficie presente entre las fases o el flujo de propiedad extensiva (materia, energía o cantidad de movimiento) que controla la velocidad del proceso global.

Finalmente, se establece el concepto de variable de diseño y se muestra el método operativo para determinar el número de las mismas, aplicándolo a algunos ejemplos sencillos. Adicionalmente, con objeto de facilitar la comprensión del capítulo sin obstaculizar su lectura, se incluye al final del mismo un cuadro-resumen con los objetivos de las operaciones básicas de mayor interés.

### 3.1. Introducción

Las operaciones básicas en Ingeniería Química son fundamentales para la transformación de materias primas en productos finales. Estas operaciones abarcan una variedad de procesos unitarios que involucran cambios físicos o químicos en las sustancias, y son esenciales en la mayoría de las industrias químicas y de procesamiento.

En cualquier proceso químico industrial han de producirse tres conjuntos sucesivos de etapas cuyos objetivos son la preparación de los reaccionantes, la reacción química y la separación de los productos obtenidos, si bien cualquiera de ellos puede resultar innecesario en procesos concretos.

Cuando se aborda el estudio de dichos procesos industriales se siguen dos enfoques alternativos: el más clásico se centra en la descripción de los procedimientos seguidos y de los equipos empleados en cada industria, recorriendo las diversas operaciones que comprende (enfoque típico de la Química Industrial), mientras que el otro consiste en el estudio sistematizado de cada una de las operaciones que son comunes a diversos procesos industriales clasificadas de acuerdo con su función específica (Operaciones Básicas). Este segundo enfoque, menos descriptivo y más científico y sistemático será el considerado en este libro.

En efecto, el conocimiento tanto de los principios fundamentales y de las variables que determinan la naturaleza y desarrollo de cada operación en particular, como de sus aplicaciones, resulta de gran utilidad para el ingeniero químico con independencia del tipo de industria en que se vaya a emplear. Por ello, el estudio de las operaciones básicas constituye un método adecuado para ordenar y aplicar los conocimientos de la Ingeniería Química al objetivo de proyectar y hacer funcionar las instalaciones químico-industriales

### **3.2. Concepto de Operación Básica**

Una operación básica en Ingeniería Química es un proceso unitario que involucra una transformación específica en una materia prima para obtener un producto deseado. Estas operaciones pueden ser físicas, como la separación de componentes, o químicas, como la reacción entre sustancias para producir nuevos compuestos.

Estas operaciones, que se repiten en los diferentes procesos químicos, se basan en principios científicos comunes y tienen técnicas de cálculo semejantes independientemente de la industria en que se apliquen y del producto que esté siendo obtenido. La filtración, la absorción, la rectificación, la extracción, la lixiviación o la adsorción constituyen ejemplos de operaciones básicas de gran aplicación en la industria química; su fundamento, desarrollo, técnica de cálculo, etc. es la misma, con independencia de si se aplica en la industria del cemento o en la del petróleo.

De entre las operaciones básicas destacan por su importancia el conjunto de aquellas conocidas como operaciones de separación por transferencia de

materia, cuya actuación se produce sobre una corriente alimento formada por una mezcla de compuestos en una fase única, con el objetivo de separar dos o más corrientes-producto de diferente composición. Para ello es necesaria la presencia de una segunda fase inmiscible con el alimento que actúe como receptora de alguno de los compuestos que se desean separar.

En algunos casos esta segunda fase se genera a partir de la inicial, por evaporación o condensación, al cambiar las condiciones de presión y temperatura: caso de la destilación, la rectificación o la evaporación. Pero en otros casos la segunda fase aparece por adición sin proceder de la mezcla original, es decir, añadiendo un disolvente adecuado: es el caso de la extracción o la absorción.

En la actualidad, los aspectos medioambientales y energéticos impulsan el desarrollo de operaciones que no necesitan de la generación de una segunda fase, porque en lugar de basarse en el equilibrio entre fases inmiscibles se fundamentan en la cinética de la transferencia. En este sentido, los procesos de separación a través de membranas semipermeables o mediante aplicación de campos eléctricos (separación de compuestos con carga) o campos magnéticos presentan unas expectativas crecientes de uso industrial.

Las operaciones básicas son los procedimientos fundamentales en los procesos químicos industriales. Estas operaciones incluyen el transporte de fluidos, transferencia de calor, transferencia de masa, separación de fases, reacción química, y más. Ejemplos incluyen:

- **Transporte de fluidos:** Bombeo de líquidos y gases a través de tuberías.
- **Transferencia de calor:** Intercambiadores de calor para calentar o enfriar fluidos.
- **Transferencia de masa:** Absorción de gases en líquidos.
- **Separación de fases:** Destilación, filtración y centrifugación.
- **Reacción química:** Reactores para llevar a cabo reacciones químicas.

Las operaciones básicas son esenciales para la producción eficiente y económica de productos químicos.

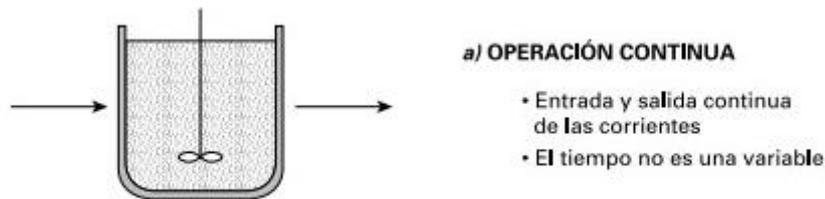
Permiten el control preciso de las condiciones de proceso y la optimización de la producción, asegurando calidad y seguridad en los productos finales.

### 3.3. Operaciones Continuas en Ingeniería Química

Las operaciones continuas son parte integral de las operaciones básicas en Ingeniería Química, son parte fundamental en la industria química debido a su eficiencia en la producción a gran escala y su capacidad para mantener un flujo constante de productos. Estas operaciones funcionan sin interrupción durante largos periodos.

**Figura 7**

*Esquema de una Operación Continua*



*Nota:* Introducción a la Ingeniería química Editorial Síntesis, S. A. Vallehermoso, 34 - 28015 Madrid.

#### 3.3.1. Ventajas de las Operaciones Continuas:

##### 1. Eficiencia Operacional:

- **Productividad:** Las operaciones continuas pueden manejar grandes volúmenes de producción con mayor eficiencia. Al no requerir paradas frecuentes, se maximiza el tiempo de operación y se incrementa la producción total.
- **Consistencia:** Al operar bajo condiciones constantes, se asegura una mayor uniformidad en la calidad del producto final.
- **Optimización Energética:** El uso constante y sostenido de equipos y maquinaria permite un uso más eficiente de la energía, reduciendo el consumo energético total.

##### 2. Control de Procesos:

- **Monitoreo en Tiempo Real:** Las plantas continuas suelen estar equipadas con sistemas de control avanzado que permiten el monitoreo continuo de variables críticas del proceso, como temperatura, presión, flujo y concentración de reactivos.
- **Respuesta Rápida a Variaciones:** Los sistemas de control pueden ajustar rápidamente las condiciones operativas en respuesta a cambios

en las condiciones del proceso, minimizando las desviaciones y mejorando la estabilidad del proceso.

3. Costos Operativos:

- **Reducción de Costos Laborales:** Las operaciones continuas requieren menos intervención humana para cargar y descargar materiales, lo que reduce los costos de mano de obra.
- **Mantenimiento y Desgaste:** Aunque los equipos pueden estar en funcionamiento continuo, el desgaste se distribuye de manera uniforme, lo que puede prolongar la vida útil de los equipos y reducir los costos de mantenimiento.

### 3.3.2. Desventajas de las Operaciones Continuas:

1. Costos de Capital:

- **Inversión Inicial Elevada:** Las plantas de procesos continuos requieren una inversión significativa en equipos, infraestructura y sistemas de control avanzados.
- **Flexibilidad Limitada:** Las operaciones continuas están diseñadas para producir grandes cantidades de un producto específico, lo que puede limitar la flexibilidad para cambiar rápidamente a la producción de otros productos.

2. Complejidad Operacional:

- **Diseño y Control Complejo:** El diseño y control de las plantas continuas requieren un alto grado de especialización y sofisticación tecnológica para asegurar que los procesos funcionen de manera eficiente y segura.
- **Paradas y Arranques:** Aunque las paradas y arranques son menos frecuentes, cuando son necesarias (por mantenimiento o cambios en la producción), pueden ser complejas y costosas.

En resumen, las ventajas y desventajas de las operaciones continuas serían:

- **Ventajas:** Mayor eficiencia, mejor control de calidad, y menor costo operativo.
- **Desventajas:** Mayor costo de instalación y mantenimiento, y menos flexibilidad en cambios de producción.

A continuación, detallaremos algunas de estas operaciones junto con ejemplos concretos:

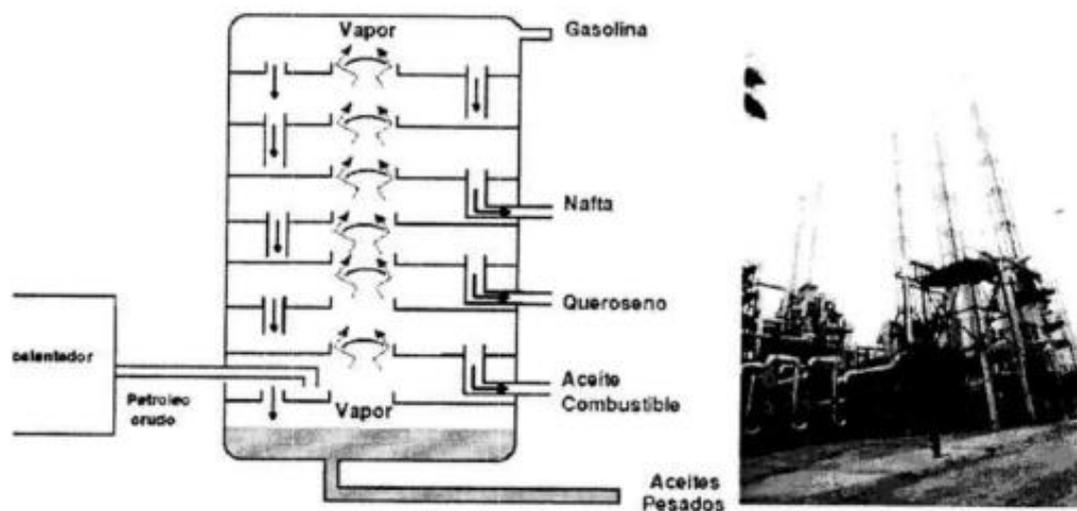
### 3.4. Destilación Continua

La destilación continua es una operación clave en la separación de mezclas de líquidos con diferentes puntos de ebullición. Se utiliza en la producción de productos petroquímicos, combustibles y solventes, entre otros.

Un ejemplo típico es la destilación de petróleo en una refinería. En una torre de destilación, el petróleo crudo se calienta y los componentes más volátiles, como la gasolina y el Diesel, se separan en diferentes etapas de la torre según su temperatura de ebullición.

**Figura 8**

*Operación continua de una unidad de destilación atmosférica.*

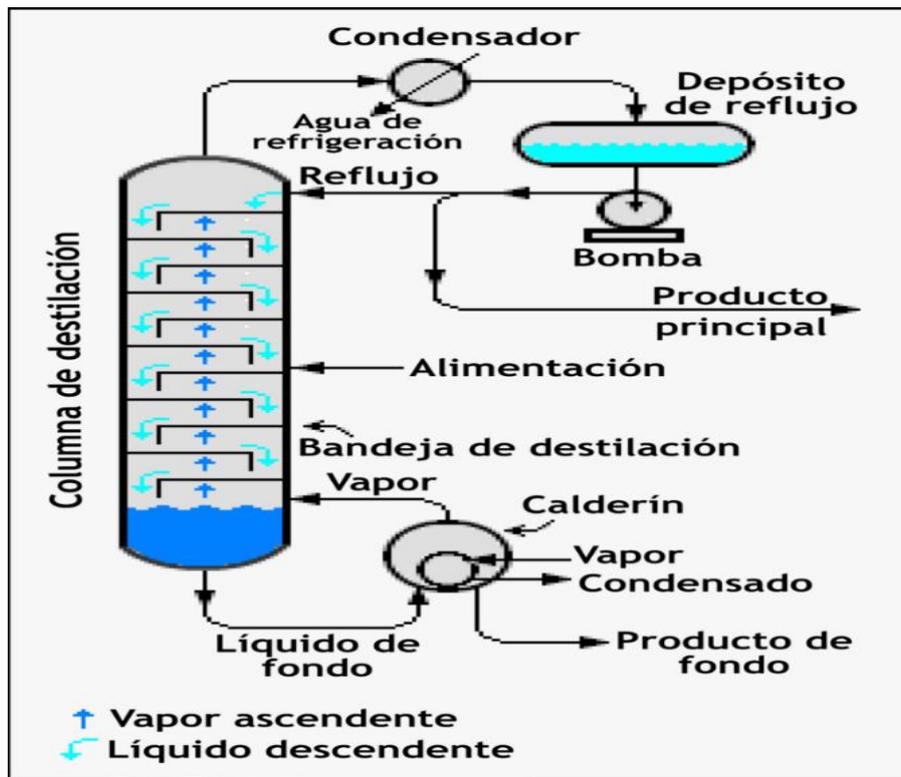


*Nota:* SlideShare, (2024).

**Ejemplo:** La destilación fraccionada en la producción de etanol. Se calienta una mezcla de agua y alcohol hasta que el alcohol se vaporiza a una temperatura menor que la del agua. Luego, se condensa el vapor de alcohol para obtener etanol de alta pureza.

Figura 9

Esquema de la torre de destilación fraccional binaria continua.

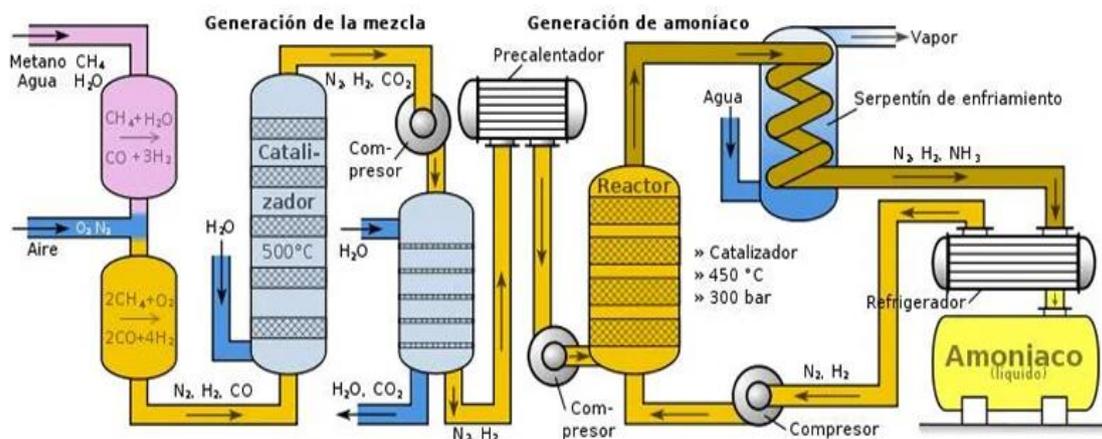


Nota: Wikipedia, (2024).

Los reactores de flujo continuo se utilizan para llevar a cabo reacciones químicas de manera constante. Un ejemplo es el reactor de lecho fluidizado en la producción de amoníaco mediante el proceso Haber-Bosch.

Figura 10

Reactores de Flujo Continuo



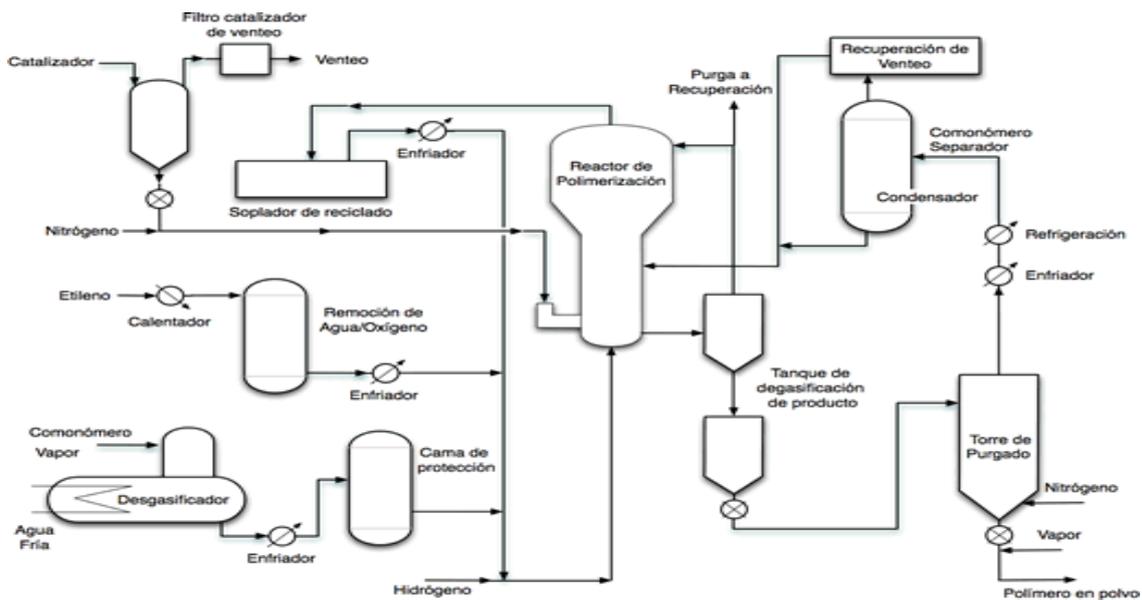
Nota: Tecpa, (2024).

En este proceso, se hace reaccionar nitrógeno e hidrógeno a alta presión y temperatura en presencia de un catalizador para producir amoníaco de manera continua.

**Ejemplo:** Reactor tubular en la síntesis de polímeros como el polietileno. Los monómeros se introducen continuamente en el reactor, donde se lleva a cabo la polimerización y se obtiene un flujo constante de polímero.

**Figura 11**

*Reactor Tubular en la síntesis de polímero*



Nota: Textos Científicos, (2024).

### 3.5. Extracción Continua

La extracción continua se utiliza para separar componentes de una mezcla utilizando un solvente. Por ejemplo, en la industria de alimentos, se utiliza la extracción continua para obtener aceites vegetales a partir de semillas. La mezcla de semillas y solvente se introduce en un extractor continuo donde el aceite se extrae selectivamente y se obtiene una corriente continua de aceite enriquecido en el solvente.

**Ejemplo:** La extracción líquido-líquido en la industria farmacéutica para separar y purificar compuestos activos de plantas medicinales utilizando solventes específicos.

**Figura 12***Extracción Continua Líquido-Líquido*

Nota: Tecnoedu, (2024).

### 3.6. Filtración Continua

La filtración continua se emplea para separar sólidos de una suspensión líquida de forma continua. Un ejemplo es la filtración de productos químicos en la fabricación de productos farmacéuticos.

En un filtro continuo, la suspensión se introduce constantemente y el líquido filtrado se separa de los sólidos de manera continua.

**Ejemplo:** Filtración de partículas en la producción de bebidas, donde se filtran las impurezas sólidas de forma continua para obtener un producto final limpio.

Estos ejemplos ilustran cómo las operaciones continuas son vitales en la producción industrial, permitiendo un flujo constante de productos de alta calidad y optimizando los procesos en la industria química y de procesamiento.

**Figura 13**

*Filtración Continua*



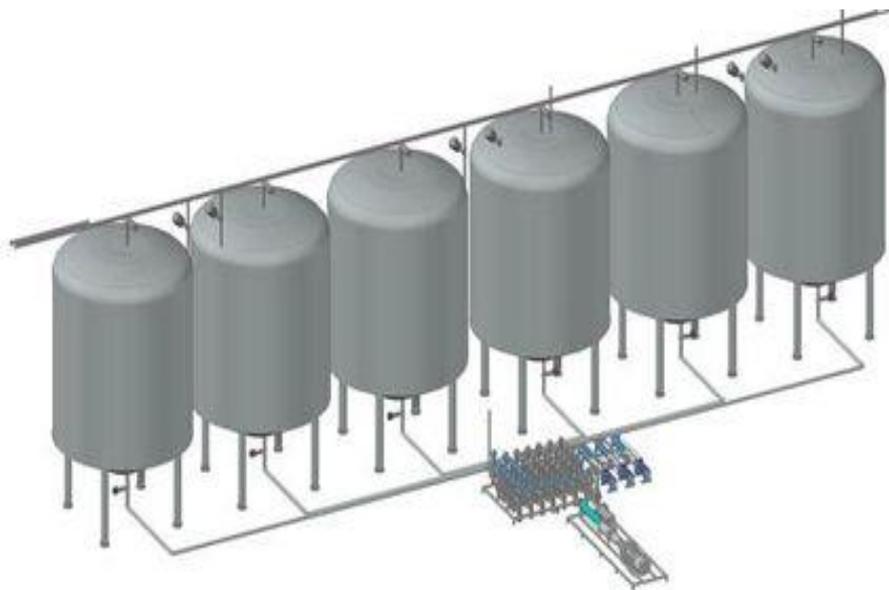
*Nota: Interempresas,(2024).*

### 3.7. Mezclado Continuo

En muchos procesos, especialmente en la fabricación de productos químicos y farmacéuticos, el mezclado continuo es esencial para garantizar la homogeneidad de las mezclas y la distribución uniforme de los componentes.

**Figura 14**

*Unidad de Mezclado Continuo*



*Nota: MachinePoint,(2024).*

### 3.8. Transferencia de Calor y Masa Continua

Los intercambiadores de calor y los sistemas de transferencia de masa se utilizan de manera continua para calentar, enfriar y separar componentes en procesos industriales como la evaporación, la condensación y la absorción.

**Figura 15**

*Intercambiador de calor*



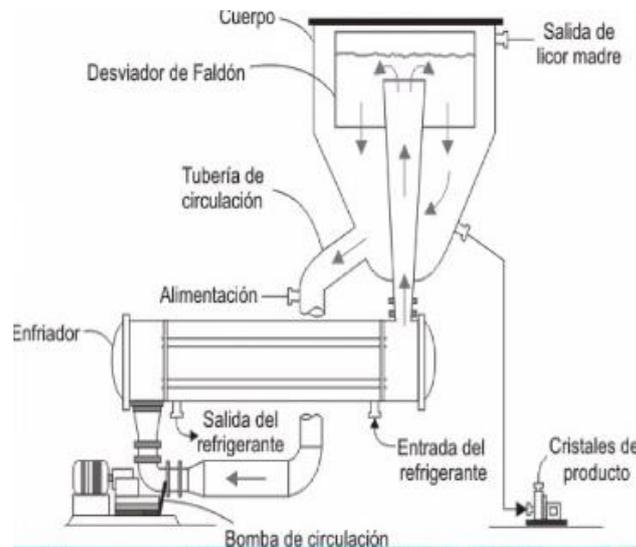
*Nota: Sacome,(2024).*

### 3.9. Cristalización Continua

En algunos procesos, como la producción de productos químicos sólidos y farmacéuticos, se utilizan sistemas de cristalización continua para obtener productos con características cristalinidad controladas.

**Figura 16**

*Cristalización continua*



Nota: SlideShare, (2024).

A continuación, damos un resumen sobre la clasificación de las operaciones unitarias según la función que realizan:

- **Operaciones de Transferencia de Masa:** Estas operaciones implican la transferencia de una o varias sustancias de una fase a otra, como líquido a sólido (extracción sólido-líquido), líquido a líquido (extracción líquido-líquido), gas a líquido (absorción), y líquido a gas (destilación).
- **Operaciones de Transferencia de Energía:** Estas operaciones involucran la transferencia de energía en forma de calor o trabajo. Algunos ejemplos son la transferencia de calor (intercambiadores de calor), la generación de trabajo (compresores, bombas), y la transferencia de energía eléctrica (electrólisis).
- **Operaciones de Transformación:** Estas operaciones cambian la naturaleza química o física de los materiales. Incluyen reacciones químicas (reactores químicos), mezcla de fluidos (agitadores, mezcladores), reducción de tamaño de partículas (molienda, trituración), y separación de sólidos (filtración, centrifugación).
- **Operaciones de Separación:** Estas operaciones separan los componentes de una mezcla según sus propiedades físicas o químicas. Pueden ser operaciones mecánicas (filtración, sedimentación), basadas en diferencias de volatilidad (destilación, evaporación), basadas en

diferencias de solubilidad (extracción, absorción), o basadas en diferencias de densidad (centrifugación, flotación).

### 3.10. Control y Optimización de Procesos Continuos

#### 3.10.1. Sistemas de Control Avanzado:

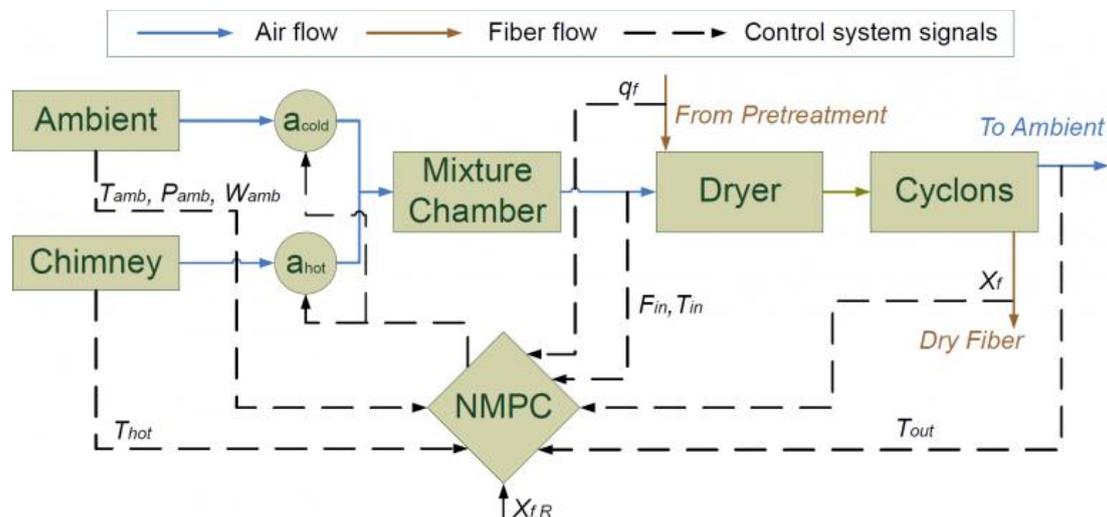
- **PLC (Controladores Lógicos Programables):** Utilizados para el control de procesos en tiempo real, los PLCs permiten la automatización y control preciso de las operaciones continuas.
- **SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos):** Los sistemas SCADA permiten la supervisión y control remoto de las plantas de procesos, recopilando datos críticos del proceso y permitiendo la toma de decisiones informada.

#### 3.10.2. Optimización de Procesos:

- **Modelado y Simulación:** El uso de modelos matemáticos y simulaciones computacionales permite optimizar las condiciones de operación para maximizar la eficiencia y la producción.
- **Análisis de Datos:** La recopilación y análisis de datos en tiempo real permite identificar y corregir desviaciones del proceso, mejorando la estabilidad y calidad del producto.

Figura 17

Control y Optimización de Procesos



Nota; Universidad de Valladolid,(2024).

Ejemplo Práctico de una Operación Continua:

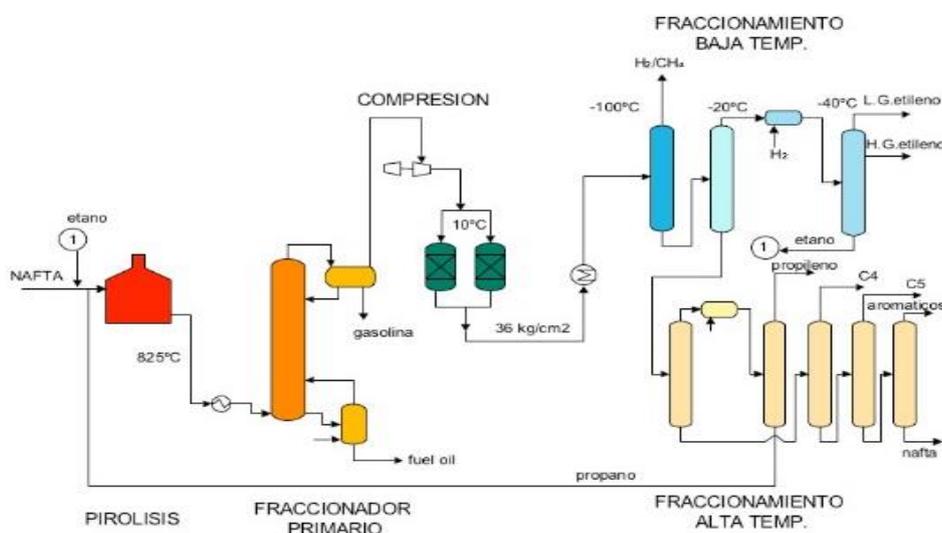
**Producción de Etileno:** La producción de etileno mediante el craqueo de hidrocarburos ligeros se lleva a cabo en plantas de proceso continuo. El proceso implica la alimentación continua de etano o nafta a un horno de craqueo, donde se descompone en etileno y otros productos ligeros. Los productos se separan en una serie de columnas de destilación y unidades de enfriamiento para obtener etileno de alta pureza.

- **Craqueo Térmico:** El etano se alimenta continuamente al horno de craqueo, donde se somete a altas temperaturas para descomponerse en etileno y otros productos.
- **Enfriamiento y Compresión:** Los productos del horno se enfrían rápidamente y se comprimen para condensar los hidrocarburos más pesados.
- **Separación y Purificación:** Los productos se separan en una serie de columnas de destilación para obtener etileno de alta pureza, que se envía a los clientes o se utiliza en otros procesos químicos.

En resumen, las operaciones continuas son fundamentales en la industria química moderna, permitiendo una producción eficiente, estable y de alta calidad. A pesar de los desafíos y costos asociados, los beneficios en términos de productividad y control de procesos hacen que sean una opción preferida para muchos procesos industriales.

**Figura 18**

*Producción de Etileno*



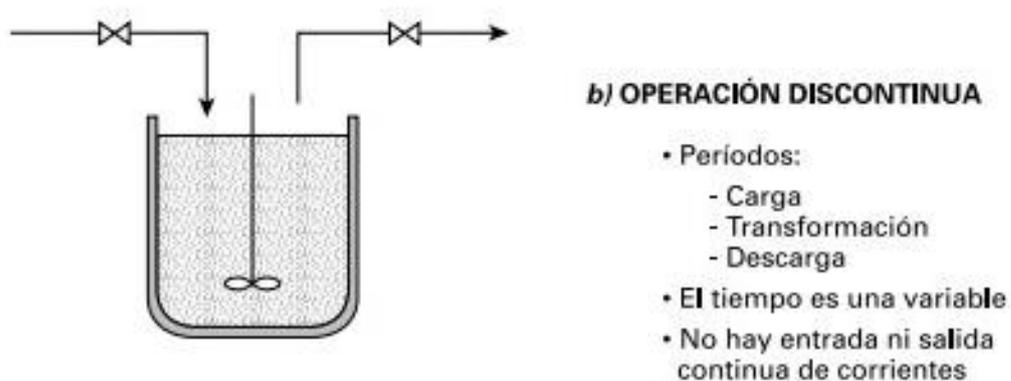
*Nota:* Universidad Politécnica de Madrid, (2024).

## Operaciones Discontinuas en Ingeniería Química

Las operaciones discontinuas, también conocidas como operaciones por lotes o batch, son otra categoría importante en Ingeniería Química. A diferencia de las operaciones continuas, en las cuales los procesos se llevan a cabo de manera continua y constante, las operaciones discontinuas implican la ejecución de un conjunto de pasos en lotes separados.

### Figura 19

*Esquema de Operación Discontinua*



*Nota:* Editorial Síntesis, (2024).

### 3.10.3. Ventajas de las Operaciones Discontinuas

#### 1. Flexibilidad:

- **Diversidad de Productos:** Permite cambiar fácilmente entre la producción de diferentes productos en el mismo equipo, simplemente modificando las condiciones de operación y los reactivos. Esto es especialmente útil para la producción de productos personalizados o en pequeñas cantidades.
- **Ajustes Personalizados:** Cada lote puede ser adaptado según las necesidades específicas del cliente o del proceso, facilitando la producción de productos con especificaciones únicas.

#### 2. Costos Iniciales:

- **Inversión Inicial Menor:** Los equipos para operaciones discontinuas suelen ser menos costosos y complejos que los utilizados para operaciones continuas, lo que reduce la inversión inicial.

- **Menos Necesidades de Infraestructura:** Las plantas discontinuas pueden ser más compactas y requerir menos infraestructura, lo que reduce los costos de construcción y mantenimiento.
3. Control de Calidad y Seguridad:
- **Monitoreo Individual:** Cada lote se puede monitorear y controlar individualmente, lo que permite una atención detallada a la calidad del producto final.
  - **Gestión de Riesgos:** En caso de que ocurra un problema, es más fácil contener y corregir un lote pequeño que una producción continua, reduciendo el riesgo de pérdidas significativas y accidentes.

#### 3.10.4. Desventajas de las Operaciones Discontinuas

1. Eficiencia Operacional:
- **Menor Eficiencia:** Los tiempos muertos entre lotes necesarios para cargar, procesar, descargar y limpiar el equipo disminuyen la eficiencia general del proceso.
  - **Mayores Costos Operativos:** La necesidad de mayor intervención humana para manejar las cargas y descargas, junto con los ciclos de limpieza y preparación, aumenta los costos operativos.
2. Consistencia del Producto:
- **Variabilidad entre Lotes:** La calidad del producto puede variar entre lotes debido a las diferencias en las condiciones de operación y el manejo de cada ciclo.
  - **Control de Procesos:** Es más difícil mantener condiciones de operación perfectamente consistentes de un lote a otro, lo que puede afectar la uniformidad del producto final.

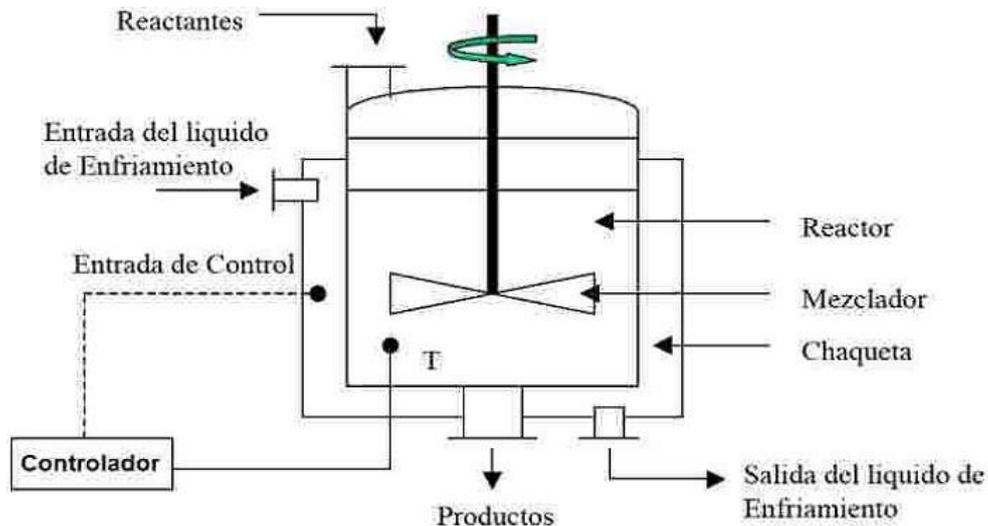
Aquí detallamos algunos ejemplos de operaciones discontinuas en Ingeniería Química:

##### 1. Reacciones por Lotes:

En muchas situaciones, especialmente en el desarrollo de nuevos productos químicos o en la producción de cantidades específicas, las reacciones se llevan a cabo en lotes separados. Esto implica cargar los reactivos en un reactor, llevar a cabo la reacción y luego descargar el producto final en lotes.

**Figura 20**

*Reactor*



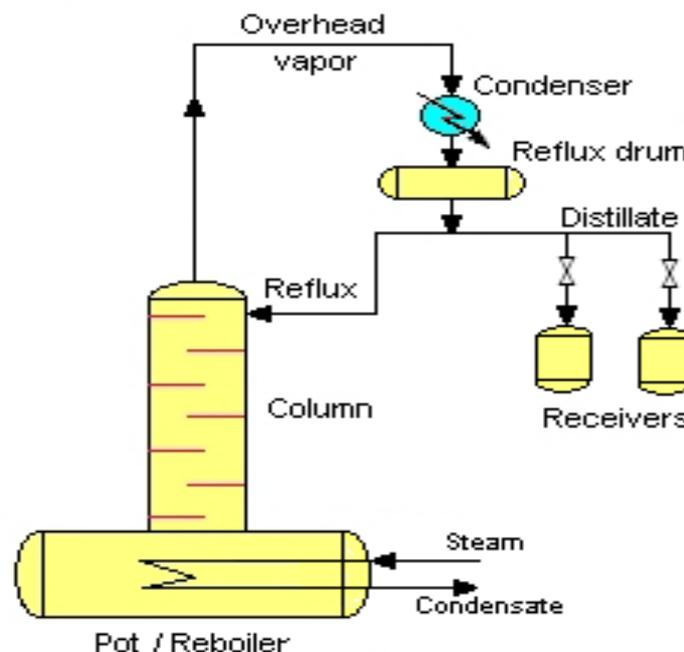
*Nota:* Ingeniería Química Reviews, (2020)

**Destilación por Lotes:**

Aunque la destilación continua es común en muchas aplicaciones industriales, en algunos casos se utiliza la destilación por lotes. Esto puede ser necesario para separar componentes de una mezcla que requieren condiciones de operación específicas o para procesar volúmenes más pequeños.

**Figura 21**

*Destilación por Lotes*



*Nota:* Wikipedia, (2023).

## 2. Mezclado por Lotes:

En la fabricación de ciertos productos químicos, farmacéuticos o alimentos, el mezclado por lotes es una operación común. Los ingredientes se mezclan en lotes separados para garantizar la uniformidad y calidad del producto final.

## 3. Procesos de Secado por Lotes:

El secado de materiales sólidos también puede realizarse en lotes, especialmente cuando se trata de productos sensibles a la humedad o cuando se necesita un control preciso de las condiciones de secado.

**Figura 22**

*Secador de bandejas discontinuo*



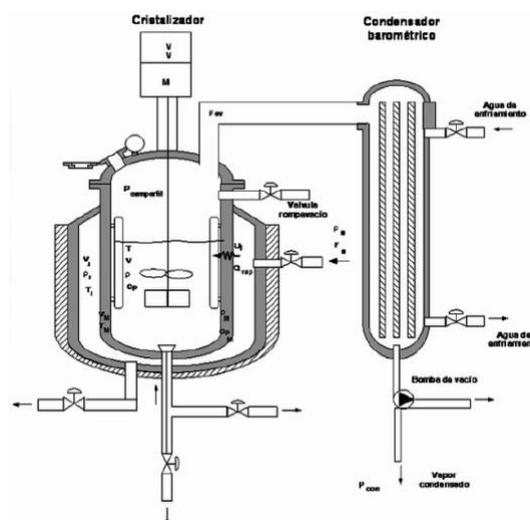
*Nota:* Italtvacuum, s.f

## Cristalización por Lotes:

Algunos procesos de cristalización se llevan a cabo en lotes para obtener productos con características cristalinas específicas o para optimizar la pureza y rendimiento del producto final.

**Figura 23**

*Cristalización*



*Nota:* ResearchGate, s.f.

### Operaciones de Filtración y Separación por Lotes:

La filtración, centrifugación y otras operaciones de separación también pueden realizarse en lotes para procesar volúmenes específicos de materiales y obtener productos purificados.

#### Figura 24

*Sistema de centrifugación*



*Nota:* Ferrum, s.f.

### Envasado y Almacenamiento por Lotes:

Una vez que se completa un lote de producción, el envasado y almacenamiento de productos químicos, farmacéuticos o alimenticios también pueden realizarse en lotes separados.

Las operaciones discontinuas ofrecen ventajas como la flexibilidad para procesar diferentes productos en un mismo equipo, controlar lotes específicos para garantizar calidad y trazabilidad, y adaptarse a procesos de desarrollo o investigación donde se necesitan experimentos controlados en pequeña escala. Sin embargo, también pueden tener desventajas en términos de tiempos muertos entre lotes y requisitos de limpieza y mantenimiento más frecuentes.

Ejemplos de Operaciones Discontinuas en la Industria Química:

#### 1. Producción de Productos Farmacéuticos:

- **Síntesis Química:** Las reacciones químicas complejas para la síntesis de ingredientes activos se realizan en reactores batch para controlar cuidadosamente las condiciones de operación y asegurar la calidad del producto.

- **Formulación y Mezcla:** La formulación de medicamentos y la mezcla de componentes se realizan en lotes para garantizar la homogeneidad y precisión en la dosificación.
2. Producción de Alimentos y Bebidas:
- **Fermentación:** La producción de productos como la cerveza, el vino y el yogur se lleva a cabo mediante procesos de fermentación en lotes para controlar el sabor y la calidad del producto final.
  - **Procesamiento y Cocción:** Muchos productos alimenticios se procesan y cocinan en lotes para mantener la consistencia y el control de calidad.
3. Manufactura de Productos Químicos Especializados:
- **Síntesis de Químicos Finos:** La producción de químicos finos y especialidades, que requieren precisión y especificaciones estrictas, se realiza a menudo en reactores batch.
  - **Polimerización:** La producción de ciertos polímeros y resinas se lleva a cabo en lotes para controlar mejor las propiedades del producto final, como el peso molecular y la distribución de la cadena polimérica.

### 3.11. Control y Optimización de Procesos Discontinuos:

1. Control de Calidad:
- **Análisis de Lotes:** Cada lote se analiza individualmente para asegurar que cumple con las especificaciones de calidad, realizando pruebas de pureza, concentración, y otras propiedades críticas.
  - **Registro y Trazabilidad:** Mantener registros detallados de las condiciones de operación, los materiales utilizados y los resultados de cada lote es esencial para asegurar la trazabilidad y la calidad del producto.
2. Optimización del Proceso:
- **Planificación y Programación:** La planificación cuidadosa de los tiempos de carga, procesamiento y descarga puede ayudar a minimizar los tiempos muertos y aumentar la eficiencia del proceso.
  - **Mejora Continua:** Implementar programas de mejora continua, como el ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act), puede ayudar a identificar y corregir ineficiencias en el proceso.

Ejemplo Práctico de una Operación Discontinua:

**Producción de un Fármaco Genérico:** La producción de un fármaco genérico puede involucrar varias etapas de operación por lotes, desde la síntesis del ingrediente activo hasta la formulación y el envasado del producto final.

1. Síntesis del Ingrediente Activo:

- **Carga de Reactivos:** Los reactivos necesarios para la síntesis del ingrediente activo se cargan en un reactor batch.
- **Reacción Química:** La reacción se lleva a cabo bajo condiciones controladas de temperatura y presión, con monitoreo constante para asegurar que se alcanzan las condiciones óptimas.
- **Descarga y Purificación:** Después de completar la reacción, el producto se descarga y se somete a procesos de purificación, como cristalización y filtración, para obtener el compuesto deseado en alta pureza.

2. Formulación y Mezcla:

- **Mezcla de Ingredientes:** El ingrediente activo se mezcla con excipientes y otros aditivos en un mezclador batch para crear la formulación final del fármaco, asegurando la homogeneidad y precisión en la dosificación.
- **Pruebas de Calidad:** Cada lote de la formulación se prueba para asegurar que cumple con las especificaciones de calidad, incluyendo pruebas de disolución, uniformidad y estabilidad.

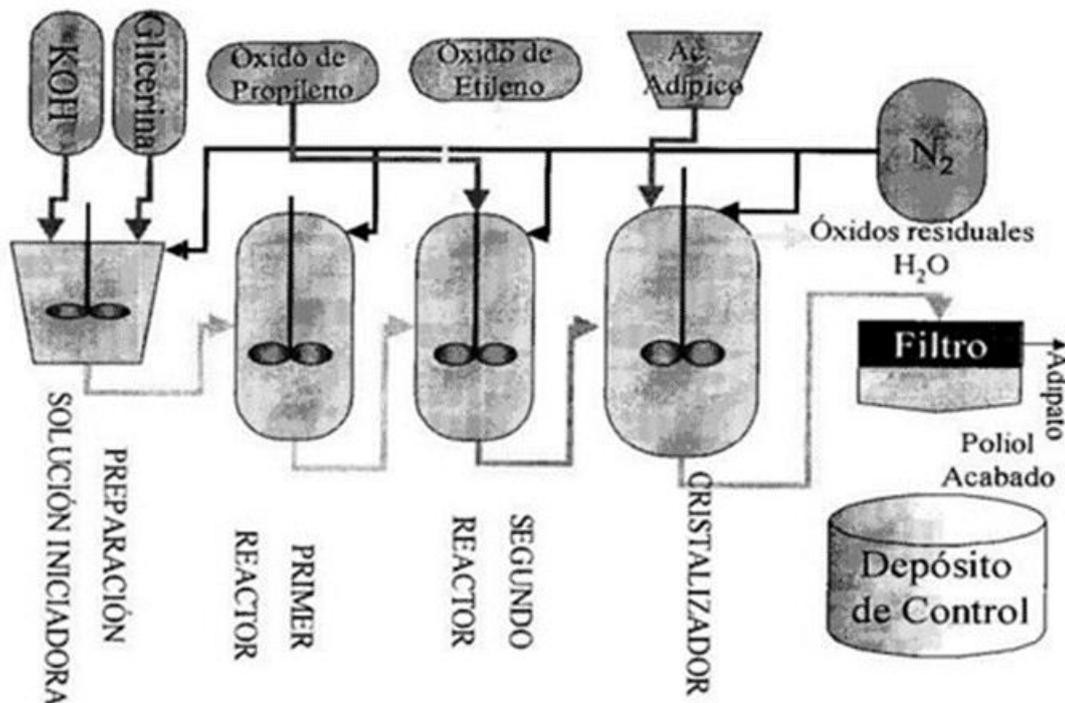
3. Envasado:

- **Llenado y Sellado:** El producto final se envasa en lotes utilizando equipos de llenado y sellado batch, asegurando que cada unidad contenga la dosis correcta y esté adecuadamente sellada.
- **Inspección Final:** Cada lote envasado se inspecciona para asegurar la integridad del envase y la calidad del producto, incluyendo pruebas de fugas y verificaciones de etiquetado.

En resumen, las operaciones discontinuas son fundamentales para la producción de productos que requieren flexibilidad, control de calidad y adaptabilidad. Aunque pueden ser menos eficientes que las operaciones continuas, su capacidad para manejar productos especializados y ajustarse rápidamente a las demandas del mercado las hace indispensables en muchas áreas de la industria química y farmacéutica.

Figura 25

Esquema de una unidad discontinua de fabricación de polioles



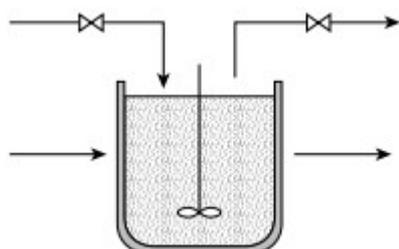
Nota: SlideShare, s.f.

### 3.12. Operaciones Semicontinuas en Ingeniería Química

Las operaciones semicontinuas son aquellas en las que ciertos pasos del proceso se realizan de manera continua mientras que otros se llevan a cabo de manera discontinua (batch). Este enfoque híbrido busca combinar las ventajas de ambos tipos de operaciones para maximizar la eficiencia y flexibilidad del proceso productivo.

Figura 26

Esquema de una operación semicontinua



#### c) OPERACIÓN SEMICONTINUA

- Entrada y salida continua de alguna corriente
- Períodos de carga, transformación y descarga para el resto
- El tiempo es una variable

Nota: Introducción a la Ingeniería química Editorial Síntesis, S. A. Vallehermoso, 34 - 28015 Madrid.

### 3.12.1. Características de las Operaciones Semicontinuas

#### 1. Carga y Descarga Intermitente:

- **Carga Continua, Proceso Batch:** Los reactivos se alimentan continuamente al sistema, pero el procesamiento y descarga del producto se realizan en lotes. Esto permite mantener un flujo constante de entrada de materia prima mientras se procesan lotes de producto final.
- **Proceso Continuo, Descarga Intermitente:** El proceso en sí es continuo, pero el producto se retira en intervalos específicos. Esto es común en sistemas donde la acumulación de producto es necesaria antes de su descarga.

#### 2. Flexibilidad en el Control del Proceso:

- **Ajustes Dinámicos:** Permite realizar ajustes en tiempo real a partes del proceso sin necesidad de detener completamente la producción. Esto es útil para optimizar condiciones de operación y responder rápidamente a variaciones en la materia prima o demanda del producto.

### 3.12.2. Ventajas de las Operaciones Semicontinuas

#### 1. Optimización de Recursos:

- **Mejora de Eficiencia:** Reduce los tiempos muertos asociados con la carga y descarga en operaciones completamente discontinuas, aumentando la productividad.
- **Reducción de Costos:** Menores costos operativos en comparación con procesos totalmente discontinuos debido a la mayor eficiencia y menor necesidad de intervención manual.

#### 2. Mejora en la Calidad del Producto:

- **Consistencia:** Mantiene condiciones de operación más estables, lo que mejora la consistencia y uniformidad del producto final.
- **Control de Parámetros:** Permite un control más preciso de parámetros críticos del proceso, mejorando la calidad y propiedades del producto.

#### 3. Adaptabilidad:

- **Producción Flexibilizada:** Facilita la producción de diferentes productos o ajustes según la demanda sin cambios significativos en la configuración del proceso.

- **Escalabilidad:** Permite aumentar o disminuir la capacidad de producción de manera más eficiente, adaptándose a las necesidades del mercado.

### 3.12.3. Desventajas de las Operaciones Semicontinuas

#### 1. Complejidad del Sistema:

- **Diseño Complejo:** La implementación de sistemas semicontinuos puede ser más compleja que la de sistemas puramente continuos o discontinuos, requiriendo una integración cuidadosa de ambos tipos de operaciones.
- **Control y Monitoreo:** Necesita sistemas de control y monitoreo más sofisticados para gestionar la integración de etapas continuas y discontinuas.

#### 2. Inversión Inicial:

- **Costos de Implementación:** La inversión inicial puede ser mayor debido a la necesidad de equipos avanzados y sistemas de control integrados.

Ejemplos de Operaciones Semicontinuas en la Industria Química:

#### 1. Producción de Biotecnología:

- **Fermentación Semicontinua:** En la producción de productos biotecnológicos, como enzimas o antibióticos, se alimentan nutrientes continuamente al biorreactor, mientras que el producto se cosecha en lotes para optimizar la producción y calidad.

#### 2. Procesamiento de Alimentos:

- **Cocción Semicontinua:** En la industria alimentaria, algunos procesos de cocción se realizan de manera semicontinua, con una alimentación constante de ingredientes y una retirada periódica del producto cocido.

#### 3. Producción de Polímeros:

- **Polimerización Semicontinua:** En la producción de polímeros, las etapas de reacción pueden ser continuas, mientras que la descarga y procesamiento del polímero final se realiza en lotes para controlar mejor las propiedades del producto.

### 3.13. Control y Optimización de Procesos Semicontinuos

#### 1. Sistema de Control Avanzado:

- **Monitoreo en Tiempo Real:** El uso de sensores y sistemas de monitoreo en tiempo real permite ajustar las condiciones del proceso para mantener la calidad y eficiencia.
- **Automatización:** La implementación de sistemas de automatización avanzada facilita la gestión de las operaciones semicontinuas, reduciendo la necesidad de intervención manual y mejorando la precisión del control.

#### 2. Planificación y Gestión de Lotes:

- **Programación de Producción:** La planificación cuidadosa de los tiempos de carga, procesamiento y descarga es crucial para maximizar la eficiencia del proceso.
- **Optimización de Recursos:** La gestión eficiente de los recursos, como reactivos y energía, puede reducir costos y mejorar la sostenibilidad del proceso.

Ejemplo Práctico de una Operación Semicontinua:

Producción de Biodiesel:

La producción de biodiesel a partir de aceites vegetales y grasas animales puede involucrar operaciones semicontinuas para optimizar la eficiencia y la calidad del producto final.

#### 1. Transesterificación:

- **Carga Continua:** Los aceites vegetales y el metanol se alimentan continuamente a un reactor de transesterificación.
- **Reacción en Lote:** La reacción química para convertir los aceites en biodiesel se lleva a cabo en lotes, permitiendo un control preciso de las condiciones de reacción.

#### 2. Separación y Purificación:

- **Proceso Continuo:** Después de la reacción, la mezcla de productos se alimenta continuamente a un sistema de separación para remover el glicerol, un subproducto de la reacción.
- **Purificación en Lote:** El biodiesel separado se purifica en lotes mediante procesos de lavado y secado para asegurar la calidad final del producto.

### 3. Envasado:

- **Llenado y Sellado Semicontinuo:** El biodiesel purificado se envasa en lotes utilizando equipos de llenado y sellado semicontinuos, asegurando que cada lote cumpla con las especificaciones de calidad.

En resumen, las operaciones semicontinuas combinan lo mejor de los procesos continuos y discontinuos, ofreciendo flexibilidad, eficiencia y control de calidad. Aunque presentan desafíos en términos de complejidad y costos de implementación, su capacidad para optimizar la producción y adaptarse a las demandas cambiantes del mercado las hace una opción valiosa en la industria química.

## 3.14. Contacto entre fases inmiscibles: continuo o discontinuo

Cuando hablamos de fases inmiscibles, nos referimos a dos o más fases de materiales que no se mezclan homogéneamente debido a diferencias en sus propiedades fisicoquímicas. Un ejemplo clásico es el agua y el aceite, donde al mezclarlos se forma una interfaz clara debido a la falta de solubilidad entre ambos. En la Ingeniería Química, el manejo adecuado de estas fases inmiscibles es esencial en numerosos procesos industriales.

### 3.14.1. Contacto Continuo entre Fases Inmiscibles

#### 1. Extracción Continua:

En la extracción líquido-líquido continua, dos líquidos inmiscibles se ponen en contacto de manera continua a través de un sistema de extracción como una columna de extracción o un extractor líquido-líquido.

Esto puede ser utilizado para separar componentes de una solución o para recuperar productos específicos de un flujo continuo.

#### 2. Emulsiones Estables:

En algunos casos, se busca estabilizar una emulsión, que es una mezcla estable de dos fases inmiscibles, como el agua y el aceite. Esto se logra mediante el uso de agentes emulsionantes que reducen la tensión superficial y evitan que las fases se separen fácilmente.

### 3. Procesos de Transferencia de Masa:

Muchos procesos de transferencia de masa implican el contacto continuo entre fases inmiscibles. Por ejemplo, en la absorción gas-líquido, el gas y el líquido entran en contacto continuo en un sistema de absorción para transferir componentes de una fase a otra.

#### **3.14.2. Contacto Discontinuo entre Fases Inmiscibles**

##### 1. Decantación:

En la decantación, las fases inmiscibles se dejan reposar para que se separen por gravedad. Este proceso es discontinuo ya que una vez que las fases se han separado, se detiene la operación y se retira la fase superior o inferior según sea necesario.

##### 2. Agitación Intermitente:

En algunos casos, se utiliza la agitación intermitente para favorecer el contacto entre fases inmiscibles en procesos como la extracción por lotes. La agitación se realiza durante un tiempo específico y luego se detiene para permitir que las fases se separen antes de continuar con la siguiente etapa del proceso.

##### 3. Cristalización Discontinua:

En la cristalización de soluciones inmiscibles, el proceso puede ser discontinuo cuando se cristaliza un producto en lotes separados en lugar de forma continua. El tipo de contacto entre fases inmiscibles a utilizar depende de varios factores, como la eficiencia de separación requerida, el tipo de proceso, los equipos disponibles y la naturaleza de los materiales involucrados.

El flujo en paralelo es un concepto importante en la Ingeniería Química y se refiere a la forma en que dos corrientes o flujos de fluidos se mueven en la misma dirección y en proximidad, pero sin mezclarse por completo. Esto puede ocurrir en una amplia variedad de sistemas, desde tuberías y reactores hasta intercambiadores de calor, y tiene implicaciones significativas en el diseño y la operación de equipos y procesos industriales.

### 3.14.3. Características del Flujo en Paralelo

#### 1. Dirección de Flujo:

En el flujo en paralelo, las corrientes de fluidos se mueven en la misma dirección, a menudo en tuberías paralelas o en secciones de un reactor o intercambiador de calor.

#### 2. Proximidad sin Mezcla Completa:

Aunque las corrientes están cerca una de la otra, no se mezclan por completo. Esto puede deberse a diferencias en las propiedades de los fluidos, como densidad, viscosidad o composición, que crean una interfaz entre las corrientes.

#### 3. Interacción en la Interfaz:

En la interfaz entre las corrientes en paralelo, puede haber interacciones como transferencia de calor, transferencia de masa o reacciones químicas, dependiendo del proceso y el equipo involucrado.

Ejemplos de Flujo en Paralelo:

#### 1. Intercambiadores de Calor:

En un intercambiador de calor de flujo en paralelo, dos corrientes de fluidos (como agua caliente y agua fría) fluyen en secciones paralelas del intercambiador, permitiendo la transferencia de calor entre ellas sin mezclarse.

#### 2. Reactores de Flujo en Paralelo:

En la síntesis química, se pueden utilizar reactores de flujo en paralelo donde varias corrientes de reactantes fluyen en paralelo a través de diferentes secciones del reactor, permitiendo la reacción química deseada sin mezcla total de los reactantes.

#### 3. Flujo en Tuberías:

En sistemas de tuberías, como en la industria petrolera o química, es común tener corrientes de fluidos que fluyen en paralelo en diferentes líneas de tuberías para propósitos de proceso o transporte.

### 3.14.4. Ventajas y Aplicaciones del Flujo en Paralelo

#### 1. Optimización de la Transferencia:

El flujo en paralelo permite la optimización de la transferencia de calor, masa o reacciones al mantener las corrientes en proximidad sin mezclarse por completo.

## 2. Control y Flexibilidad:

Este tipo de flujo brinda control y flexibilidad en la operación de equipos y procesos, permitiendo ajustar las condiciones de operación según sea necesario.

## 3. Reducción de Pérdidas y Contaminación:

Al evitar la mezcla total de corrientes, el flujo en paralelo puede reducir pérdidas de fluidos y contaminaciones no deseadas en los procesos.

En resumen, el flujo en paralelo es una configuración común en la Ingeniería Química que permite la interacción controlada de corrientes de fluidos sin mezcla total, siendo fundamental en numerosos procesos industriales para la transferencia eficiente de calor, masa y reacciones químicas.

### 3.15. Flujos Controlantes en Operaciones Básicas

#### 3.15.1. Flujo Controlado por Transferencia de Masa:

En operaciones como la absorción, la extracción líquido-líquido y la adsorción, el flujo puede estar controlado por la transferencia de masa. Esto ocurre cuando la velocidad a la que los componentes se difunden o se transportan a través de una fase (como un líquido o un sólido) es la etapa limitante del proceso. Por ejemplo, en un proceso de absorción de gases en un líquido, la velocidad a la que el gas se disuelve en el líquido puede ser limitada por la velocidad de transferencia de masa en la interfaz gas-líquido.

#### 3.15.2. Flujo Controlado por Transferencia de Calor:

En operaciones como la evaporación, la condensación y la cristalización, el flujo puede estar controlado por la transferencia de calor. Esto sucede cuando la velocidad a la que se transfiere calor entre un medio y otro es la etapa limitante del proceso. Por ejemplo, en un evaporador, la velocidad a la que se evapora un líquido puede estar limitada por la transferencia de calor desde una superficie caliente al líquido a evaporar.

#### 3.15.3. Flujo Controlado por Mezclado:

En operaciones donde la homogeneización de los componentes es esencial, como en el mezclado de líquidos en un tanque agitado, el flujo puede estar

controlado por la eficiencia de mezclado. Esto ocurre cuando la velocidad a la que se mezclan los componentes es la etapa limitante del proceso. Un mal mezclado puede resultar en una distribución desigual de los componentes y afectar la calidad del producto final.

#### **3.15.4. Flujo Controlado por Transferencia de Fase:**

En operaciones de separación como la destilación, la extracción líquido-líquido y la filtración, el flujo puede estar controlado por la transferencia de fase. Esto sucede cuando la velocidad a la que se separan los componentes en fases diferentes es la etapa limitante del proceso. Por ejemplo, en una columna de destilación, la velocidad de separación de componentes en los diferentes platos de la columna puede ser limitante para la eficiencia de separación.

### **3.16. Flujos Controlantes en Reactores Químicos**

#### **3.16.1. Flujo Controlado por la Cinética de Reacción:**

En un reactor químico, el flujo puede estar controlado por la velocidad de reacción misma. Esto ocurre cuando la velocidad a la que ocurre la reacción química es la etapa limitante del proceso. Por ejemplo, en una reacción lenta, la velocidad a la que se forma el producto final puede ser limitada por la velocidad de la propia reacción.

#### **3.16.2. Flujo Controlado por Transferencia de Masa en el Reactor:**

En algunos casos, la velocidad de transferencia de masa dentro del reactor puede ser la etapa limitante del proceso. Esto ocurre cuando la velocidad a la que los reactivos se mezclan o se transportan dentro del reactor es la etapa controlante. Por ejemplo, en un reactor de lecho fijo, la velocidad a la que los reactivos reaccionan en la superficie del catalizador puede ser limitante si la transferencia de masa es lenta.

### 3.16.3. Flujo Controlado por Transferencia de Calor en el Reactor:

En reacciones exotérmicas, la transferencia de calor dentro del reactor puede ser la etapa limitante si no se disipa adecuadamente el calor generado por la reacción. Esto puede llevar a problemas de temperatura y afectar la eficiencia y selectividad de la reacción.

Identificar el flujo controlante en una operación o reactor químico es fundamental para optimizar el diseño y la operación del proceso, ya que permite focalizar los esfuerzos en mejorar la etapa limitante y aumentar la eficiencia y la calidad del producto final.

Variables de Diseño en Operaciones Básicas:

1. Mezclado:

- **Velocidad de Agitación:** La velocidad de agitación afecta la homogeneidad de la mezcla y la transferencia de masa o calor en sistemas líquidos. Una agitación adecuada garantiza una distribución uniforme de los componentes y una mezcla eficiente.
- **Tiempo de Mezclado:** El tiempo que se dedica al proceso de mezclado es crucial para lograr una mezcla completa y homogénea, especialmente en reacciones químicas donde la velocidad de reacción puede estar influenciada por la eficiencia de mezclado.
- **Número de Revoluciones (N):**  $N=v/D$ , donde  $v$  es la velocidad lineal del agitador (m/s) y  $D$  es el diámetro del tanque agitado (m).

2. Separación:

- **Área de Superficie de Separación:** En operaciones como la filtración y la sedimentación, el área de superficie disponible para la separación afecta la velocidad y eficiencia de la separación de fases o sólidos.
- **Tiempo de Residencia:** El tiempo que el material pasa en el equipo de separación, como en una columna de destilación o un filtro, influye en la calidad y la cantidad de los productos separados.
- **Área de Superficie de Separación (A):** Dependiendo del tipo de equipo de separación (por ejemplo, en un filtro de placas,  $A=n \times A_{\text{placa}}$ , donde  $n$  es el número de placas y  $A_{\text{placa}}$  es el área de cada placa).

### 3. Transferencia de Calor:

- **Área de Superficie de Transferencia:** En intercambiadores de calor, el área de superficie disponible para la transferencia de calor determina la cantidad de calor transferido y la eficiencia del intercambio térmico.
- **Coefficiente de Transferencia de Calor:** La eficiencia de transferencia de calor está influenciada por factores como el tipo de intercambiador, la viscosidad de los fluidos y la diferencia de temperaturas.
- **Coefficiente de Transferencia de Calor (U):**  $U=Q/A \times \Delta T$ , donde Q es la cantidad de calor transferido (W), A es el área de transferencia de calor ( $m^2$ ) y  $\Delta T$  es la diferencia de temperatura entre los fluidos (K).
- Cálculo del Área de Transferencia (A):  $A=Q/U \times \Delta T$

### 4. Transferencia de Masa:

- **Área de Superficie de Transferencia:** En procesos como la absorción y la extracción, el área de contacto entre fases afecta la eficiencia de transferencia de masa.
- **Coefficiente de Transferencia de Masa:** La velocidad de transferencia de masa está influenciada por la difusividad de los componentes y la velocidad de agitación o flujo en el sistema.
- Coeficiente de transferencia de masa (k):

$K = (\text{Velocidad de Transferencia de Masa}) / (\text{Diferencia de Concentración})$

- **Área de Superficie de Transferencia (A):** Dependiendo del tipo de equipo de transferencia de masa, se puede calcular usando fórmulas específicas para cada caso.

### 5. Reacciones Químicas:

- **Temperatura y Presión:** Estas variables afectan la cinética de la reacción y la selectividad de productos. El control preciso de la temperatura y presión es crucial para optimizar la velocidad de reacción y la calidad del producto.
- **Concentración de Reactivos:** La concentración de los reactivos influye en la velocidad y el equilibrio de la reacción química. Mantener concentraciones óptimas es esencial para maximizar la conversión de reactivos a productos.
- **Velocidad de Reacción (r):** Dependiendo de la cinética de la reacción, puede expresarse como una función de las concentraciones de los

reactivos, por ejemplo:  $r=k \times [A]^n \times [B]^m$ , donde  $k$  es la constante de velocidad,  $[A]$  y  $[B]$  son las concentraciones de los reactivos,  $n$  y  $m$  son los órdenes de reacción respectivos.

#### 6. Operaciones Unitarias Combinadas:

- En operaciones combinadas, como en un sistema de reacción y separación integrado, las variables de diseño deben considerar aspectos de mezclado, transferencia de calor, transferencia de masa y cinética de reacción de manera integrada para lograr un funcionamiento eficiente y seguro. Para operaciones combinadas, como en un sistema de reacción y separación, se pueden utilizar modelos de balance de masa y energía para diseñar y optimizar el proceso, considerando las variables de diseño específicas de cada operación unitaria.
- Las fórmulas antes mencionadas son ejemplos generales y pueden variar dependiendo del equipo y el proceso específico involucrado. Es importante verificar y utilizar las fórmulas adecuadas según el contexto y los datos disponibles para el diseño y análisis de operaciones básicas en Ingeniería Química.

#### 3.16.4. Cálculo del número de variables de diseño

El cálculo del número de variables de diseño en operaciones básicas en Ingeniería Química depende del proceso específico que estemos considerando. En general, las variables de diseño se refieren a los parámetros que se pueden ajustar o controlar para optimizar un proceso o equipo.

Ejemplo: Cálculo del Número de Variables de Diseño en Mezclado

**Proceso:** Mezclado en un Tanque Agitado

Variables de Diseño:

1. **Velocidad de Agitación (N):** Permite controlar la intensidad del mezclado.
2. **Tiempo de Mezclado (t):** Define la duración del proceso de mezcla.
3. **Tamaño de Partícula del Agitador (d):** Puede afectar la eficiencia del mezclado.
4. **Tipo de Agitador (tipo):** Diferentes tipos de agitadores tienen efectos diferentes en la mezcla.

5. **Densidad de Carga ( $\rho$ ):** La cantidad de material en el tanque puede influir en el mezclado.

**Cálculo del Número de Variables de Diseño:** En este caso, tenemos 5 variables de diseño que se pueden ajustar para optimizar el proceso de mezclado en el tanque agitado.

Fórmula para el Número de Variables de Diseño (V):  $V = n_i - n_c$

Donde:

- $n_i$  = número total de variables involucradas en el proceso.
- $n_c$  = número de variables que están controladas o fijas.

En nuestro ejemplo:

- $n_i = 5$  variables de diseño mencionadas anteriormente.
- $n_c$  puede variar dependiendo del grado de control o restricciones del proceso. Si asumimos que controlamos la densidad de carga y el tipo de agitador (2 variables), entonces  $n_c = 2$ .

Sustituyendo en la fórmula:  $V = 5 - 2 = 3$

Por lo tanto, en este ejemplo, hay tres variables de diseño que pueden ajustarse para optimizar el proceso de mezclado en el tanque agitado.

Esta metodología se puede aplicar a diferentes operaciones básicas en Ingeniería Química, considerando las variables relevantes para cada proceso y evaluando cuántas de esas variables pueden ser ajustadas o controladas para mejorar la eficiencia, calidad o rendimiento del proceso.

**Cálculo del número de variables de diseño de una etapa de contacto**

Una etapa de contacto entre fases es aquella en la que éstas son mezcladas con la pretensión de alcanzar el máximo de transferencia. Si este objetivo se logra, se alcanza el equilibrio y la etapa es ideal, de lo contrario, se trata de una etapa real.

En una etapa de contacto, como en un proceso de absorción, extracción líquido-líquido, o cualquier operación donde se busca el contacto entre dos fases para transferir masa, calor o realizar una reacción química, el número de variables de diseño puede variar según el proceso y las condiciones específicas. A continuación, se da un ejemplo del cálculo del número de variables de diseño en una etapa de absorción:

Ejemplo: Cálculo del Número de Variables de Diseño en una Etapa de Absorción

**Proceso:** Absorción de un gas en un líquido en un equipo de contacto (columna de absorción).

Variables de Diseño:

1. **Velocidad de Flujo de Gas ( $Q_g$ ):** Determina la cantidad de gas que entra en la columna.
2. **Velocidad de Flujo de Líquido ( $Q_l$ ):** Controla la cantidad de líquido que se utiliza en la absorción.
3. **Temperatura del Sistema ( $T$ ):** La temperatura afecta la velocidad de absorción y la selectividad de la misma.
4. **Presión del Sistema ( $P$ ):** La presión puede influir en la solubilidad del gas en el líquido.
5. **Tipo de Absorbente (tipo):** Diferentes absorbentes pueden tener diferentes capacidades de absorción para el gas específico.
6. **Geometría del Equipo (dimensiones de la columna):** El tamaño y diseño de la columna afectan la eficiencia de la absorción.
7. **Concentración del Gas de Entrada ( $C_g$ ):** La concentración inicial del gas puede influir en la eficiencia de la absorción.

**Cálculo del Número de Variables de Diseño:** En este caso, tenemos 7 variables de diseño que se pueden ajustar para optimizar el proceso de absorción en la columna.

Fórmula para el Número de Variables de Diseño ( $V$ ):  $V = n_i - n_c$

Donde:

- $n_i$  = número total de variables involucradas en el proceso (en nuestro ejemplo,  $n_i=7$ )
- $n_c$  = número de variables que están controladas o fijas.

Si asumimos que controlamos la geometría del equipo (dimensiones de la columna) y el tipo de absorbente (2 variables controladas), entonces  $n_c=2$ .

Sustituyendo en la fórmula:  $V=7-2=5$

Por lo tanto, en este ejemplo de una etapa de absorción, hay 5 variables de diseño que pueden ajustarse para optimizar el proceso en la columna de absorción. Estas variables incluyen la velocidad de flujo de gas y líquido, temperatura, presión, tipo de absorbente y concentración inicial del gas de entrada.

Este enfoque se puede aplicar a otras etapas de contacto donde se busca el contacto entre fases para realizar transferencia de masa, calor o reacciones químicas, evaluando cuántas variables pueden ser ajustadas para mejorar la eficiencia y la calidad del proceso.

**Tabla 1**

*Operaciones básicas y sus objetivos principales*

<b>Operación básica</b>	<b>Objetivo principal</b>	<b>Aplicaciones típicas</b>
Absorción	Separar componentes de una mezcla gaseosa mediante la disolución de uno o más componentes en un líquido.	control de emisiones, purificación de gases industriales.
Destilación	Separar mezclas líquidas basadas en diferencias en los puntos de ebullición de los componentes	Producción de alcoholes, refinación de petróleo.
Extracción	Separar componentes de una mezcla sólida o líquida utilizando un solvente.	Recuperación de metales, separación de productos químicos.
Filtración	Separar sólidos de líquidos o gases usando un medio filtrado.	Tratamiento de aguas, separación de sólidos en suspensiones.
Cristalización	Separar sólidos puros de una solución líquida mediante la formación de cristales.	Producción de ventas, purificación de compuestos químicos.
Reacción Química	Transformar reactivos en productos a través de reacciones químicas controladas.	Síntesis de productos químicos, fabricación de plásticos.
Mezcla y agitación	Homogeneizar componentes de diferentes fases para asegurar una composición uniforme.	Preparación de soluciones, mezcla de ingredientes en procesos industriales.

Transporte de fluidos	de Optimizar el movimiento y la distribución de líquidos y gases a través de sistemas de tuberías, bombas, compresores y otros equipos para asegurar un flujo eficiente y continuo en los procesos industriales.	Distribución de agua potable a través de Transporte de petróleo y productos químicos. Manejo de gases industriales en la industria Recirculación de fluidos
Secado	Eliminar la humedad de sólidos, líquidos o pastas para obtener un producto con un contenido de humedad reducido, lo que facilita su almacenamiento, procesamiento y uso posterior.	Secado de alimentos Producción de polímeros y plásticos Preparación de muestras para análisis Secado de productos farmacéutico
Intercambio de calor	de Transferir calor entre dos o más fluidos a diferentes temperaturas para lograr un equilibrio térmico deseado, mejorar la eficiencia del proceso y optimizar el uso de energía en diversas aplicaciones industriales.	Intercambiadores de Calor en Plantas Químicas Sistemas de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado (HVAC) Generación de Energía Procesos de Refrigeración Industria alimentaria.

*Nota:* Autores (2024).

## Autoevaluación

Subraye la respuesta correcta

1) ¿Cuál es una ventaja típica de las operaciones continuas en ingeniería química?

- A) Alta flexibilidad operativa
- B) Menor inversión inicial
- C) Fácil adaptación a cambios de producción
- D) Mayor eficiencia energética

2) ¿Qué operación es especialmente adecuada para la separación de componentes en una mezcla líquida mediante la aplicación de diferencias en volatilidad?

- A) Extracción continua
- B) Cristalización continua
- C) Destilación continua
- D) Filtración continua

3) ¿Cuál es una característica desventajosa común de las operaciones discontinuas en comparación con las continuas?

- A) Mayor dificultad para controlar la calidad del producto
- B) Menor utilización de equipos y espacio
- C) Mayor riesgo de contaminación cruzada
- D) Dificultad para automatizar procesos

4) ¿Qué tipo de operación es adecuada cuando se requiere un contacto íntimo y prolongado entre dos fases inmiscibles para lograr transferencia de masa?

- A) Contacto continuo entre fases inmiscibles
- B) Contacto discontinuo entre fases inmiscibles
- C) Operaciones semicontinuas
- D) Operaciones batch

5) ¿Cuál es un ejemplo típico de un flujo controlante en operaciones básicas de ingeniería química?

- A) Transferencia de calor y masa
- B) Reactores químicos
- C) Filtración continua
- D) Mezclado continuo

Relacione y subraye la respuesta correcta

1) Relacione cada tipo de operación con una de sus características principales:

Operación	Característica
1. Destilación continua	a) Permite intercambiar energía o masa entre dos corrientes fluidas.
2. Extracción continua	b) Combina fluidos o sólidos para obtener una mezcla homogénea en todo momento.
3. Filtración continua	c) Alta eficiencia en la separación de componentes volátiles.
4. Mezclado continuo	d) Utiliza solventes inmiscibles para separar solutos de una fase líquida.
5. Transferencia de calor y masa continua	e) Utiliza una membrana o medio poroso para separar sólidos de líquidos.

- A) 1c,2d,3e,4b,5 a
- B) 1 a,2c,3b,4e,5d
- C) 1d,2 a, 3e,4d,5c
- D) 1b,2e,3 a,4c,5d

2) Relacione y subraye la respuesta correcta de cada factor con una de sus características

Factores	Característica
1) Concentración de Reactivos	a) Variables que afectan la cinética de la reacción y la selectividad de productos.
2) Temperatura y Presión	b) Influye en la velocidad y el equilibrio de la reacción química.
3) Velocidad de Reacción	c) Dependen de la cinética de la reacción, puede expresarse como una función de las concentraciones de los reactivos

- A) 1b, 2a, 3c

- B) 1a, 2b, 3c
- C) 1b, 2c, 3a
- D) 1c, 2 a, 3b

## Evaluación por competencia

### Objetivo de la Evaluación por Competencias:

Evaluar la comprensión de los estudiantes sobre las operaciones básicas en ingeniería química, incluyendo su clasificación, ventajas y desventajas, así como su aplicación en procesos continuos, discontinuos y semicontinuos.

#### Competencia 1: Conocimiento Técnico

Define el concepto de operación básica en Ingeniería Química. ¿Por qué son fundamentales para el diseño y operación de procesos industriales?

**Criterio de Evaluación:** Conocimiento claro sobre operaciones básicas y su relevancia.

#### Competencia 2: Análisis de Datos

Elige un tipo de operación continua (como destilación o filtración) y describe su flujo de materiales. Explica las ventajas y desventajas asociadas.

**Criterio de Evaluación:** Capacidad para analizar un proceso y sus características.

#### Competencia 3: Diseño de Experimentos

Selecciona un proceso de extracción continua y describe cómo diseñarías un experimento para optimizar su rendimiento.

**Criterio de Evaluación:** Comprensión del diseño experimental aplicado a un proceso específico.

#### Competencia 4: Sostenibilidad

Discute el impacto ambiental de las operaciones discontinuas en Ingeniería Química. ¿Qué medidas se pueden implementar para mejorar su sostenibilidad?

**Criterio de Evaluación:** Habilidad para identificar problemas ambientales y proponer soluciones.

#### Competencia 5: Comunicación



Prepare una presentación (5-7 diapositivas) sobre el control y optimización de procesos continuos, destacando las herramientas y técnicas más utilizadas.

**Criterio de Evaluación:** Capacidad para comunicar información técnica de manera efectiva y visualmente atractiva.

## Glosario

- **Absorción:** Separación de uno o varios componentes de una mezcla gaseosa mediante su disolución selectiva en un líquido. (Ejemplo: absorción del  $\text{NH}_3$  del aire en agua.).
- **Adsorción:** Separación de uno o varios componentes de una mezcla líquida o gaseosa mediante un sólido adsorbente. (Ejemplo: adsorción de compuestos fenólicos en disolución acuosa con carbón activo.).
- **Centrifugación:** Separación de sólidos o líquidos de emulsiones o suspensiones mediante la actuación de la fuerza centrífuga. (Ejemplo: separación del agua mezclada con aceites vegetales en su proceso de extracción.)
- **Cristalización:** Separación de un soluto de una disolución líquida mediante contacto con un sólido generado a partir de la misma. (Ejemplo: obtención de cloruro sódico del agua del mar.).
- **Desabsorción (Inversa de la Absorción):** Separación de uno o varios componentes de una mezcla líquida mediante un gas. (Ejemplo: tratamiento de aguas contaminadas por compuestos volátiles mediante arrastre con aire.).
- **Deshumidificación de aire:** Separación parcial del vapor de agua contenido en un aire húmedo mediante agua a una temperatura suficientemente baja. (Ejemplo: acondicionamiento del aire.).
- **Desorción (inversa de la Adsorción):** Separación de las sustancias adsorbidas sobre un sólido mediante un disolvente, un vapor o un gas. (Ejemplo: recuperación de olefinas previamente separadas de una fracción petrolífera por adsorción en zeolitas.)

- **Destilación:** Separación de una mezcla líquida por vaporización parcial de la misma y condensación del vapor genera.
- **Evaporación:** Separación de los componentes volátiles de una disolución en la que el soluto no es volátil por generación de su vapor a partir de la misma mediante calefacción. (Ejemplo: concentración de zumos de frutas por eliminación del agua.)
- **Extracción:** Separación de los componentes de una mezcla líquida mediante un disolvente inmiscible con ella. (Ejemplo: extracción de aromáticos de los aceites lubricantes con furfural).
- **Filtración:** Separación de las partículas suspendidas en un fluido mediante su retención sobre un material poroso que es atravesado por éste. (Ejemplo: tratamiento de aguas residuales mediante lechos de arena.).
- **Flotación:** Separación de los componentes de una mezcla de sólidos por su diferencia de densidad y propiedades superficiales. (Ejemplo: separación de la mena de la ganga en la industria metalúrgica mediante espumas.)
- **Fluidización:** Suspensión de partículas sólidas en el seno de una corriente ascendente de fluido. Se emplea como operación complementaria para facilitar el transporte de materia y calor. (Ejemplo: secado de sólidos, adsorción, reacciones químicas heterogéneas, etc.).
- **Humidificación de aire (Enfriamiento de agua):** Transferencia de agua desde una corriente acuosa a una de aire mediante su evaporación parcial sin aporte de calor del exterior. (Ejemplo: acondicionamiento del aire, refrigeración del agua en una torre de una central térmica.).
- **Lixiviación:** Separación de uno o varios componentes contenidos en un sólido mediante un disolvente. (Ejemplo: separación del aceite de cacahuete por disolución en n-hexano, en el tratamiento de las semillas.)
- **Rectificación:** Separación, a través de sucesivas vaporizaciones parciales, de uno o varios componentes de una mezcla líquida o gaseosa mediante la calefacción o enfriamiento de ésta. (Ejemplo: separación del crudo de petróleo en fracciones petrolíferas de distinta volatilidad.).

- **Secado:** Separación de un líquido que impregna un sólido, mediante su vaporización en un gas, normalmente aire. (Ejemplo: secado de materiales cerámicos porosos en corriente de aire caliente.).
- **Sedimentación:** Separación de partículas sólidas o gotas de un fluido mediante la actuación de la gravedad. (Ejemplo: separación de lodos producidos en el tratamiento de aguas residuales.).
- **Contacto continuo:** Modo de contacto entre las fases inmiscibles en el que éstas están en contacto permanentemente, sin interrupción, por lo que no llegan a separarse en el interior del equipo utilizado. En las operaciones de transferencia de materia se lleva a cabo, por ejemplo, en columnas de relleno.
- **Contacto discontinuo (o intermitente):** Modo de contacto entre las fases inmiscibles en el que éstas se separan y se vuelven a mezclar en etapas de contacto sucesivas, a lo largo del equipo utilizado. En las operaciones de transferencia de materia se lleva a cabo, por ejemplo, en columnas de pisos o platos, con flujo en contracorriente.
- **Etapas de equilibrio:** Etapa de contacto entre fases inmiscibles en la que se alcanza el equilibrio de éstas, ya que se supone que el contacto es intenso y suficientemente prolongado. Por tratarse de un caso ideal, también se conoce como *etapa ideal*. En las etapas de contacto reales no se llega a alcanzar el equilibrio, por lo que su eficacia no es del 100%.
- **Flujo en contracorriente:** Flujo de corrientes que se desplazan en la misma dirección, pero sentidos opuestos. La entrada de una corriente y la salida de la otra se encuentran en el mismo extremo del equipo. Es muy frecuente, por su mayor eficacia respecto a otros tipos de flujo.
- **Flujo cruzado:** Flujo de corrientes que se desplazan en direcciones perpendiculares entre sí. Suele ser una alternativa al flujo en contracorriente, cuando una de las fases es gaseosa. Ejemplo: secado de sólidos con corriente de aire.
- **Flujo en paralelo:** Flujo de corrientes que se desplazan en la misma dirección y sentido. Las corrientes entran juntas por un extremo del equipo y salen juntas, por el contrario. Es poco frecuente por su menor eficacia.
- **Operación continua:** Operación que transcurre continuamente, sin etapas de carga y descarga, por lo que las corrientes entran y salen

permanentemente del equipo en el que se produce la transformación. Suelen transcurrir en régimen estacionario.

- **Operación discontinua:** Operación que consta de una fase inicial (carga), una fase de transformación y una fase final (descarga), que transcurre por tanto en régimen no estacionario. También se denomina *operación por cargas*.
- **Operación semicontinua:** Operación en la que unos componentes siguen el proceso de una operación discontinua (carga, transformación y descarga) mientras que otros entran y salen en una corriente permanente durante la transformación, como en una operación continua.
- **Régimen estacionario:** Régimen de funcionamiento en el que las variables no dependen del tiempo, manteniéndose los valores constantes durante el proceso. Es característico de las operaciones continuas a escala industrial.
- **Régimen no estacionario.** Régimen de funcionamiento en el que las variables dependen del tiempo, modificando sus valores durante el transcurso del proceso. Es característico de las operaciones discontinuas.
- **Variable de diseño.** Cada una de las variables independientes de un sistema que son fijadas para que el mismo quede determinado (tenga igual número de incógnitas que de ecuaciones independientes). Ello permite determinar el resto de las variables del sistema, denominadas variables de estado.

Recomendamos observar los siguientes videos para facilitarle el aprendizaje de los contenidos expuestos en el presente capítulo:

Links: Operaciones Básicas de Ingeniería Química

<https://www.youtube.com/watch?v=yRNmHa0Ousg>

<https://www.youtube.com/watch?v=wNDcwX525vc>

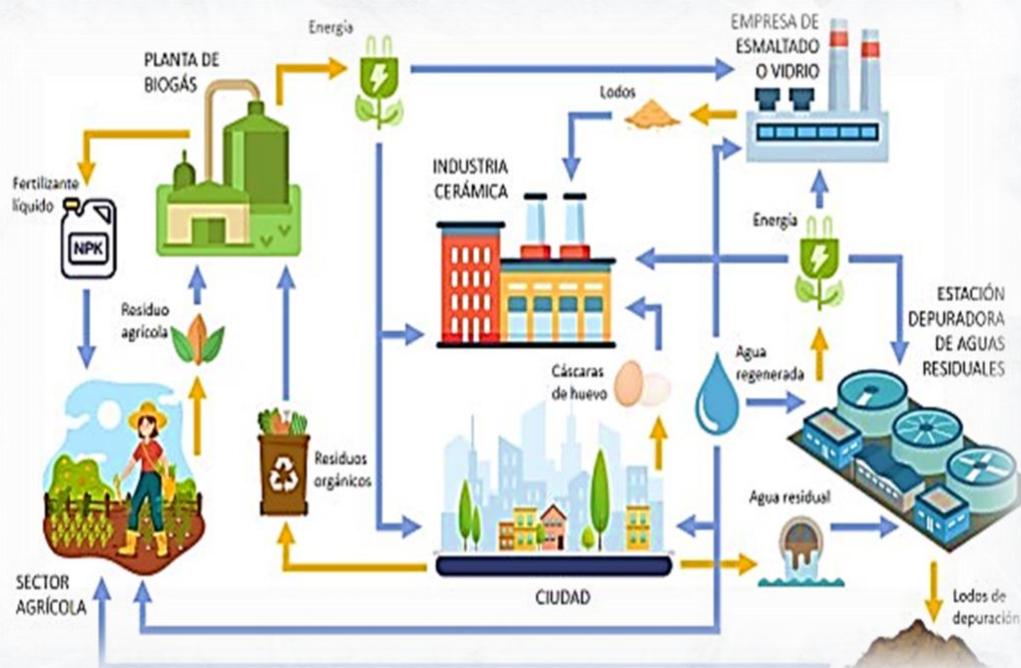
<https://www.youtube.com/watch?v=PT-ePeWZ5hk>

[https://www.youtube.com/watch?v=Qbsh\\_Gz216A](https://www.youtube.com/watch?v=Qbsh_Gz216A)

[https://www.youtube.com/watch?v=FT\\_4fbF3vu4](https://www.youtube.com/watch?v=FT_4fbF3vu4)

# CAPÍTULO 04

## INNOVACIÓN Y PROGRESO TECNOLÓGICO





## Innovación y progreso tecnológico

*“La ingeniería química es la profesión en la cual el conocimiento de la matemática, química y otras ciencias básicas (ganados por el estudio, experiencia y práctica) es aplicado con juicio para desarrollar maneras económicas de usar materiales y energía para el beneficio de la humanidad.”*

*American Institute of Chemical Engineers*

En el dinámico campo de la ingeniería química, la innovación y el progreso tecnológico son fundamentales para abordar los desafíos globales actuales y futuros. Este capítulo explora las últimas innovaciones y el prometedor futuro de la ingeniería química, destacando avances significativos en áreas clave como la sostenibilidad, la biotecnología, la nanotecnología, la digitalización y la educación continua. Estos temas son cruciales para formar ingenieros químicos capacitados en el manejo eficiente y responsable de los recursos y procesos industriales.

### 4.1. Aplicaciones Industriales y Sostenibilidad

Los recursos naturales son la fuente de suministro exclusiva de materias primas para la industria química. De la litosfera, la industria química inorgánica obtiene la mayor parte de los elementos químicos, que se encuentran en forma de combinaciones metálicas y no metálicas (sulfuros, óxidos, fosfatos, etc.).

Así mismo, de dicho medio se extraen carbón, petróleo y gas natural, materias primas que constituyen la base fundamental de la industria química orgánica. Finalmente, la caliza y la sílice en diferentes formas de silicatos son fuentes de industrias importantes como la del cemento, cerámica y vidrio.

De la hidrosfera la industria química se provee de materias primas como el cloruro sódico, contenido en el agua de mar, que no sólo es materia prima para la obtención, por electrolisis, de sus elementos constituyentes (cloro, sodio, potasio, etc.) sino también de importantes compuestos de sodio (carbonatos, sulfatos, fosfatos, etc.). Por su parte, de la electrolisis del agua es posible la

obtención de hidrógeno, que puede utilizarse en posteriores procesos de fabricación.

De la atmósfera, y en concreto del aire, la industria química toma el nitrógeno, el oxígeno y los gases nobles, que se separan por procedimientos fundamentalmente criogénicos. Debe añadirse que también se usa aire en la industria química como “aire de proceso” en una gran variedad de operaciones químicas como físicas: combustión, gasificación, secado, clasificación y arrastre neumático, etc.

Finalmente, la biosfera, particularmente en el reino vegetal, constituyen una fuente importante de materias primas de las que, en algunos casos, son necesarias grandes cantidades; por ejemplo, la celulosa para la fabricación de pasta y papel, los azúcares y las grasas. Por su parte, muchas enzimas, son usadas cada vez más en la industria bioquímica, obtenidos del reino animal mediante procesos fermentativos en los que intervienen microorganismos.

Por lo que la ingeniería química juega un papel crucial en el desarrollo y la sostenibilidad de numerosas industrias alrededor del mundo mediante la implementación de prácticas responsables y tecnologías avanzadas. La industria química es uno de los pilares fundamentales de la economía global, abarcando desde la producción de productos farmacéuticos, alimentos hasta materiales y energía.

## **4.2. Sostenibilidad y Economía Circular**

Desarrollo de Procesos Sostenibles: Descripción de técnicas y enfoques para desarrollar procesos químicos más sostenibles, como la minimización de residuos, el uso de materias primas renovables y la reducción del impacto ambiental.

La industria química puede tener un impacto significativo en el medio ambiente debido a emisiones, residuos peligrosos y consumo de recursos naturales. Es fundamental implementar prácticas sostenibles, como:

- Reducción de Residuos: Implementación de tecnologías limpias y procesos cerrados para minimizar la generación de residuos y optimizar el uso de recursos.

- **Gestión de Agua y Energía:** Mejora en la eficiencia del uso del agua y la energía, reduciendo así el consumo y las emisiones asociadas.
- **Cumplimiento Normativo:** Cumplimiento estricto con las normativas ambientales locales e internacionales para garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental.

Las normativas y regulaciones son fundamentales para garantizar prácticas seguras y responsables en la industria química. Incluyen:

- **Legislación Ambiental:** Leyes y regulaciones que controlan las emisiones, la gestión de residuos peligrosos, y la protección de recursos naturales como el aire, el agua y el suelo.
- **Normativas de Seguridad:** Directrices para el manejo seguro de sustancias químicas, almacenamiento seguro, transporte y respuesta a emergencias.
- **Ética y Responsabilidad Social:** Compromiso con las comunidades locales, transparencia en las prácticas comerciales y contribución al desarrollo sostenible.

Ejemplo: La implementación de tecnologías de captura y almacenamiento de carbono (CCS) en plantas industriales para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Un estudio de caso sería la planta de captura de carbono de Sleipner en Noruega, que ha logrado reducir significativamente sus emisiones de CO<sub>2</sub>.

- **Economía Circular y su Impacto en la Ingeniería Química:** Explicación de los principios de la economía circular y cómo estos están siendo aplicados en la ingeniería química para cerrar ciclos de materiales y energía.

Ejemplo: El diseño de procesos de reciclaje de plásticos mediante pirólisis para obtener productos químicos de valor añadido, como el proceso de Plastic Energy que convierte plásticos no reciclables en productos petrolíferos.

### **4.3. Biotecnología y Nanotecnología**

Aplicaciones de la Biotecnología en la Industria Química: Descripción de cómo la biotecnología se utiliza en la producción de productos químicos, biocombustibles, medicamentos, alimentos y otros productos.

Ejemplo: La producción de bioplásticos utilizando microorganismos modificados genéticamente para sintetizar polímeros biodegradables. Un estudio de caso

sería la empresa NatureWorks, que produce bioplásticos a partir de maíz y caña de azúcar

- Innovaciones en Nanotecnología y sus Aplicaciones: Explicación de avances en nanomateriales, nanosensores, nanomedicina y otras aplicaciones de la nanotecnología en la ingeniería química.

Ejemplo: El uso de nanopartículas de plata en la industria de textiles para desarrollar tejidos antibacterianos y antimicrobianos. Un estudio de caso sería la empresa Nanosafe Solutions, que produce textiles con propiedades antibacterianas utilizando nanotecnología.

#### **4.4. Digitalización e Industria 4.0**

Impacto de la Digitalización en los Procesos Industriales: Descripción de cómo la digitalización, el uso de big data, inteligencia artificial y IoT están transformando los procesos industriales en la ingeniería química, mejorando la eficiencia, la calidad y la seguridad.

Ejemplo: La implementación de sistemas de control y monitoreo remoto mediante IoT para optimizar el rendimiento de plantas químicas. Un estudio de caso sería la planta de BASF en Ludwigshafen, Alemania, que utiliza tecnologías digitales para mejorar la eficiencia operativa.

- Uso de Big Data, Inteligencia Artificial y IoT en la Ingeniería Química: Explicación de cómo estas tecnologías se aplican para el monitoreo en tiempo real, la optimización de procesos y la toma de decisiones en la industria química.

Ejemplo: La aplicación de algoritmos de machine learning para predecir fallos en equipos industriales y realizar mantenimiento predictivo. Un estudio de caso sería la planta de Dow Chemical en Freeport, EE. UU., que utiliza análisis de datos para optimizar la fiabilidad de sus equipos.

#### **4.5. Educación y Formación Continua**

Importancia de la Educación Continua para los Ingenieros Químicos: Descripción de la necesidad de actualización constante de conocimientos y habilidades en un campo en constante evolución como la ingeniería química.

Ejemplo: La participación en programas de formación en línea sobre nuevas tecnologías y tendencias en la industria química, como los ofrecidos por la American Institute of Chemical Engineers (AIChE).

- **Nuevas Metodologías de Enseñanza y Aprendizaje en la Ingeniería Química:** Explicación de cómo la educación en ingeniería química está adoptando nuevas metodologías y tecnologías para mejorar la formación de profesionales competentes y actualizados.

Ejemplo: La utilización de simuladores de procesos virtuales para enseñar conceptos de control de procesos y diseño de plantas industriales. Un estudio de caso sería la Universidad de Stanford, que utiliza simuladores virtuales para mejorar la comprensión de los estudiantes en ingeniería química.

## 4.6. Ingeniería de Procesos

La ingeniería de procesos en la industria química abarca el diseño, la operación y la optimización de plantas industriales que producen productos químicos, materiales y energía. Comprende varias disciplinas interrelacionadas que garantizan la eficiencia, la seguridad y la rentabilidad de las operaciones.

### 4.6.1. Diseño de Plantas Químicas

El diseño de plantas químicas implica la conceptualización y la configuración de instalaciones que realizan procesos químicos y físicos para transformar materias primas en productos útiles. Los aspectos clave incluyen:

- **Selección de Procesos:** Elección de tecnologías y métodos adecuados para cada etapa del proceso, desde la materia prima hasta el producto final.
- **Diseño de Equipos:** Dimensionamiento y especificación de equipos como reactores, intercambiadores de calor, torres de destilación, entre otros.
- **Flujos de Materia y Energía:** Análisis detallado de los flujos de materia y energía para optimizar el rendimiento y minimizar pérdidas.

### 4.6.2. Control de Procesos y Seguridad

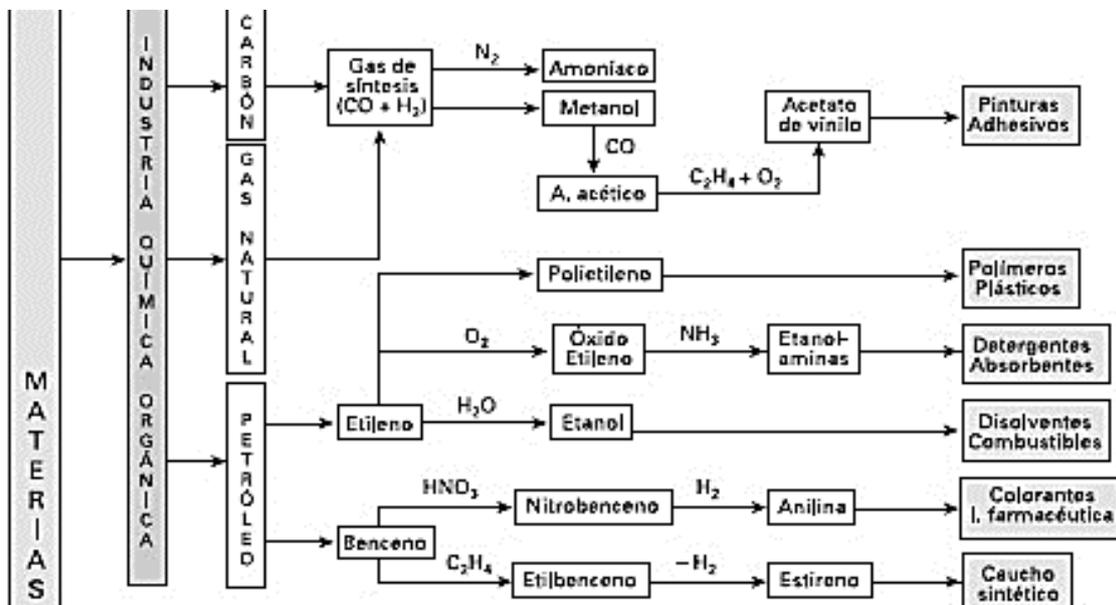
El control de procesos se refiere a la supervisión y regulación continua de las variables operativas para garantizar el funcionamiento seguro y eficiente de la planta. Incluye:

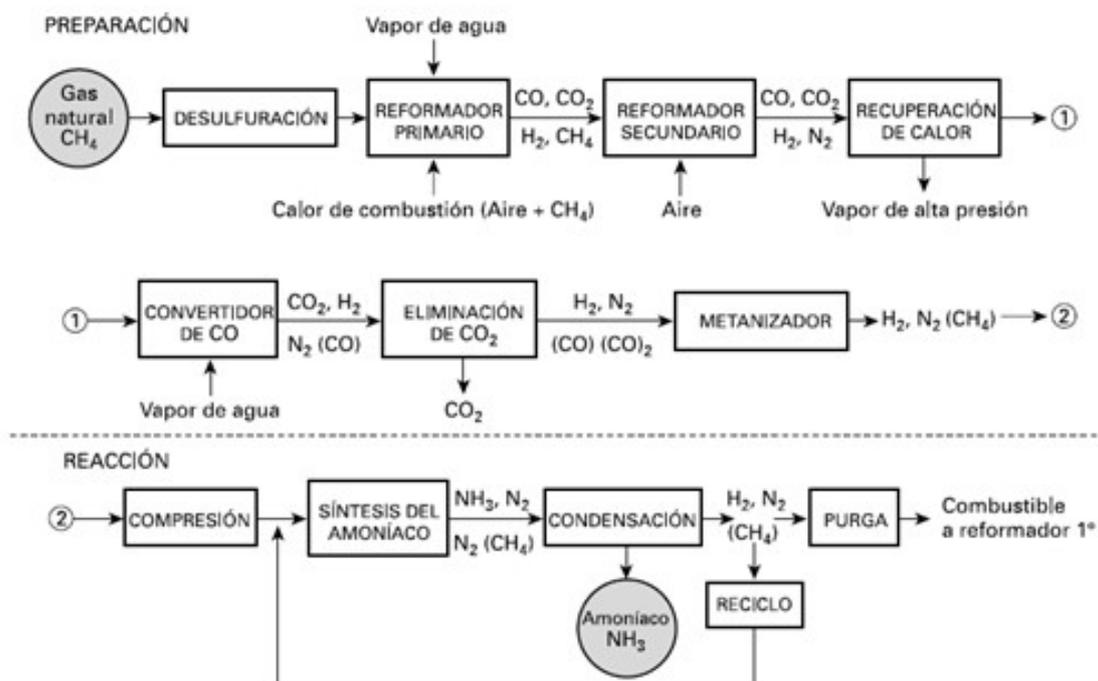
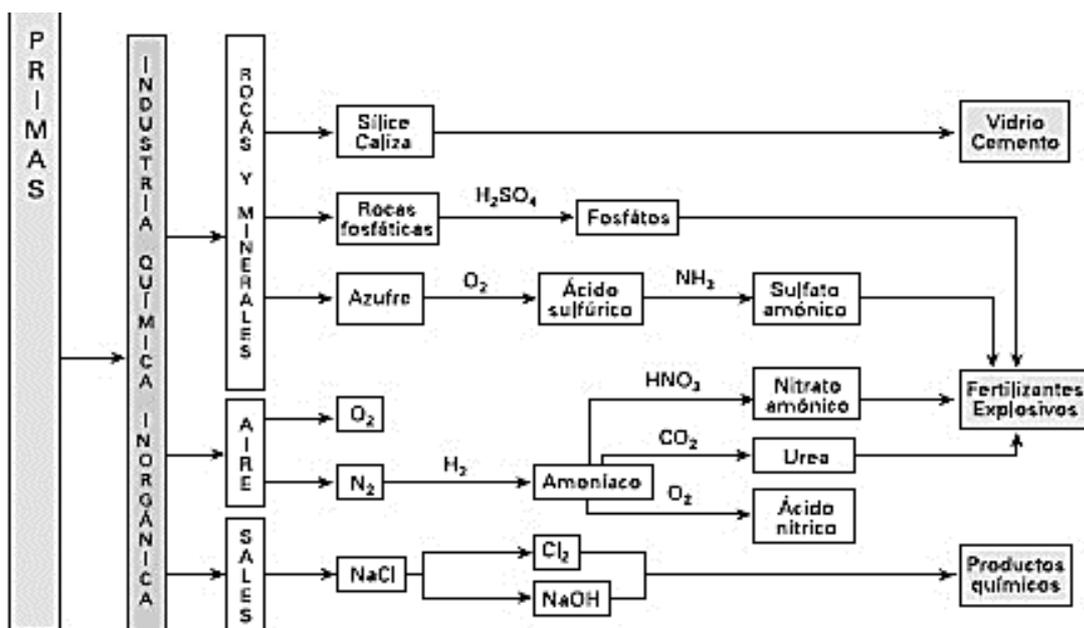
- **Automatización:** Implementación de sistemas automáticos y de control para mantener las condiciones operativas óptimas y responder a cambios en tiempo real.
- **Seguridad:** Implementación de medidas de seguridad para prevenir accidentes, como sistemas de alarma, procedimientos operativos seguros (SOPs), y análisis de riesgos.
- **Análisis de Riesgos:** Evaluación sistemática de posibles riesgos y desarrollo de estrategias de mitigación para proteger a los trabajadores, la comunidad y el medio ambiente.

Como resumen a continuación, se presenta esquemas de algunos ejemplos característicos de aprovechamiento de las principales materias primas y sus productos intermedios y finales.

**Figura 27**

*Esquema de aprovechamiento químico-industrial de materias primas.*

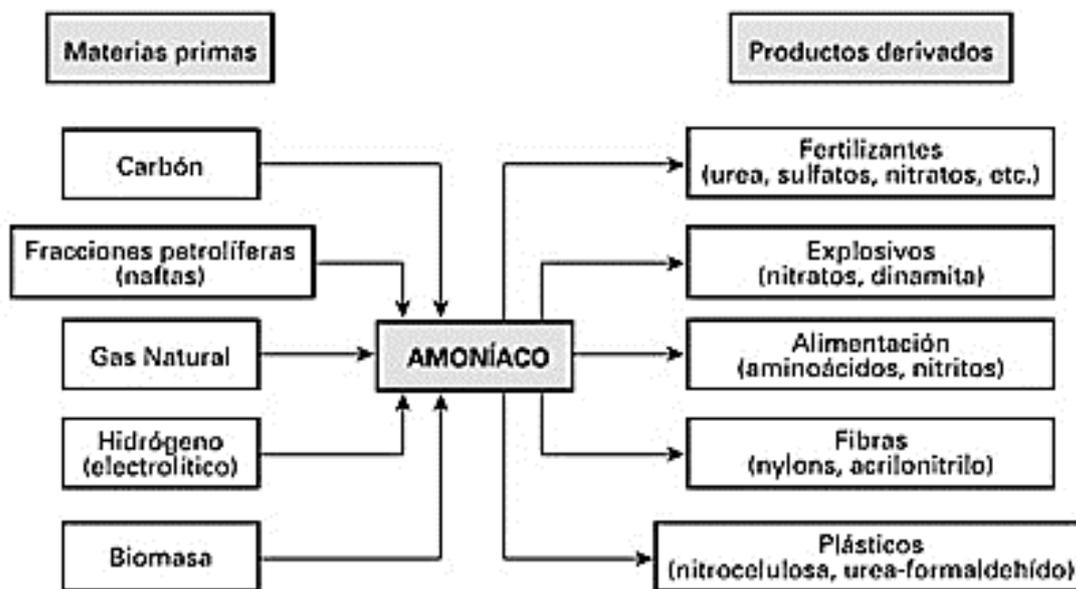




Nota: Introducción a la Ingeniería química Editorial Síntesis, S. A. Vallehermoso, 34 - 28015 Madrid.

Figura 28

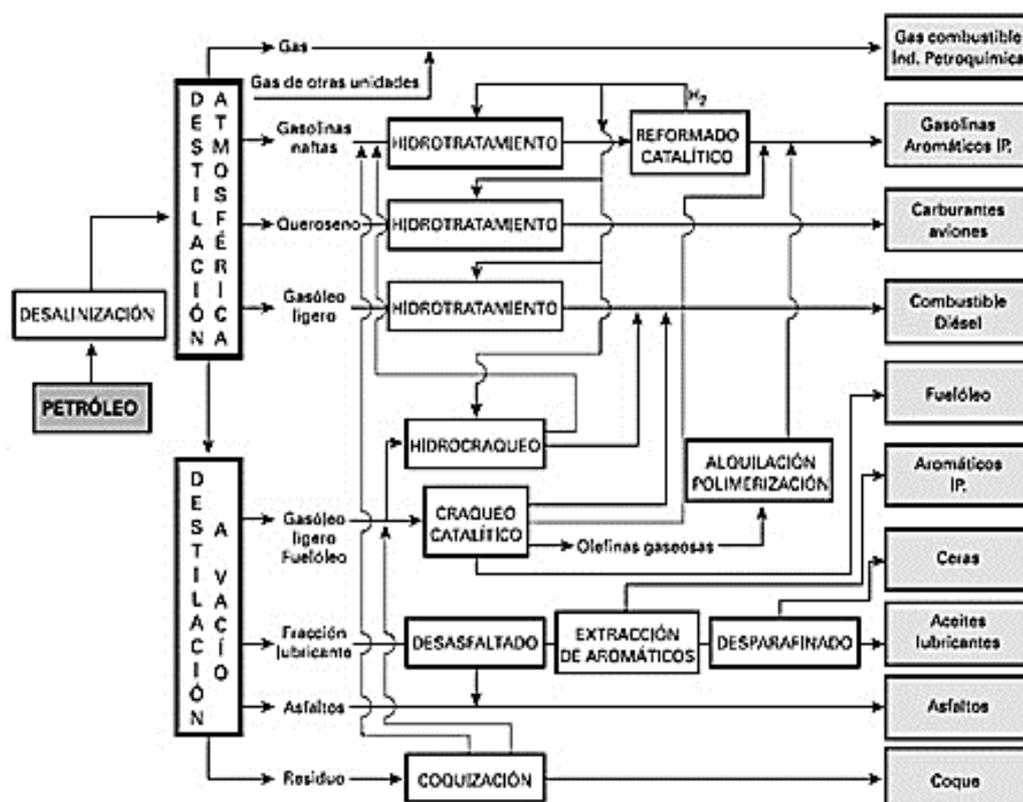
Materias primas para la obtención de amoníaco y aplicaciones industriales.



Nota: Introducción a la Ingeniería química Editorial Síntesis, S. A. Vallehermoso, 34 - 28015 Madrid.

Figura 29

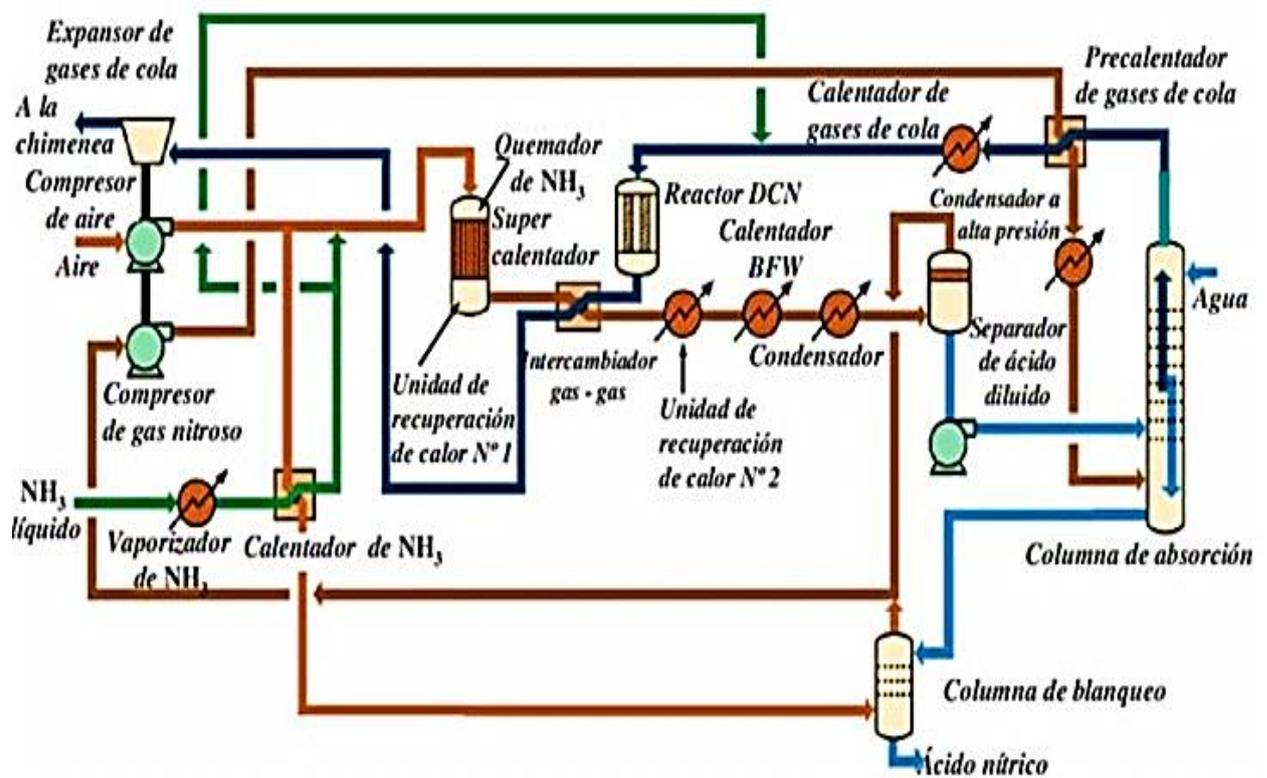
Esquema general de las operaciones de una refinería.



Nota: Introducción a la Ingeniería química Editorial Síntesis, S. A. Vallehermoso, 34 - 28015 Madrid.

Figura 30

Diagrama de flujo del proceso de fabricación del ácido nítrico.



Nota: ResearchGate, s.f.

## Autoevaluación

Subraye la respuesta correcta

1) ¿Cuál de las siguientes tecnologías se utiliza en la ingeniería química para optimizar procesos mediante la predicción de fallas y el mantenimiento predictivo?

- A) Nanotecnología
- B) Economía circular
- C) Inteligencia artificial
- D) Biotecnología



2) ¿Qué empresa es conocida por producir bioplásticos a partir de maíz y caña de azúcar mediante biotecnología?

- A) Plastic Energy
- B) Nanosafe Solutions
- C) BASF
- D) NatureWorks

3) La planta de captura de carbono de Sleipner en Noruega es un ejemplo de:

- A) Economía circular
- B) Digitalización en la industria química
- C) Sostenibilidad en la industria química
- D) Aplicación de nanotecnología en procesos químicos

4) ¿Qué tecnología se utiliza para crear tejidos antibacterianos en la industria textil?

- A) Nanopartículas de plata
- B) Plásticos biodegradables
- C) Tecnologías de captura de carbono
- D) Procesos de pirólisis

- 5) La digitalización en la industria química incluye el uso de:
- A) IoT y big data
  - B) Simuladores virtuales
  - C) Tecnologías de biotecnología
  - D) Nanosensores

Preguntas de relación:

1) Relacione correctamente los siguientes conceptos con sus aplicaciones en la ingeniería química:

CONCEPTOS	APLICACIONES
1) Economía circular	a) Optimización de procesos mediante IoT y big data.
2) Nanotecnología	b) Desarrollo de nanosensores para monitoreo ambiental.
3) Digitalización	c) Cierre de ciclos de materiales y energía en la industria química.

- A) 1c;2b;3 a
- B) 1 a;2b;3c
- C) 1c;2 a;3c

2) Relacione correctamente los siguientes conceptos con sus aplicaciones en la ingeniería química:

CONCEPTOS	APLICACIONES
1) Biotecnología	a) Implementación de tecnologías para reducir el impacto ambiental en la industria química.
2) Sostenibilidad	b) Necesidad de actualización constante en un campo en evolución.
3) Educación Continua	c) Producción de bioplásticos a partir de materias primas renovables.

- A) 1b;2c;3 a
- B) 1 c;2 a;3b
- C) 1a;2 b;3c

## Evaluación por competencias

### Objetivo de la Evaluación por

**Competencias:** Evaluar la comprensión de los estudiantes sobre la sostenibilidad en la ingeniería química, las aplicaciones de biotecnología y nanotecnología, y la importancia de la digitalización en la industria, así como su capacidad para diseñar procesos sostenibles.



#### Competencia 1: Conocimiento Técnico

Define el concepto de sostenibilidad en la Ingeniería Química. Explica cómo se relaciona con la economía circular y proporciona ejemplos concretos de su aplicación en la industria.

**Criterio de Evaluación:** Conocimiento profundo sobre sostenibilidad y economía circular.

#### Competencia 2: Análisis de Datos

Selecciona un caso de estudio que involucre biotecnología o nanotecnología en un proceso industrial. Analiza los datos relevantes y discute su impacto en la eficiencia del proceso y en la sostenibilidad.

**Criterio de Evaluación:** Capacidad para analizar y presentar datos en un contexto práctico.

#### Competencia 3: Diseño de Experimentos

Elige un proceso en la industria 4.0 y describe cómo implementarías un experimento para optimizar su rendimiento utilizando herramientas digitales. ¿Qué métricas utilizarías para evaluar el éxito?

**Criterio de Evaluación:** Comprensión del diseño experimental en un contexto digital.

#### Competencia 4: Sostenibilidad

Elabora un plan estratégico para integrar prácticas sostenibles en el diseño de una planta química. Incluye consideraciones sobre seguridad y control de procesos.

**Criterio de Evaluación:** Habilidad para proponer soluciones prácticas y sostenibles en la ingeniería de procesos.

Competencia 5: Comunicación

Desarrolla un informe completo (1000 palabras) sobre las tendencias futuras en la Ingeniería Química, haciendo énfasis en la digitalización y su impacto en la sostenibilidad. Incluye gráficos y datos relevantes

**Criterio de Evaluación:** Capacidad para comunicar información técnica de manera clara, estructurada y visualmente atractiva.

## Glosario

- **Automatización Industrial:** Uso de sistemas y tecnologías para realizar tareas de producción sin intervención humana directa.
- **Mantenimiento Predictivo:** Estrategia de mantenimiento que utiliza datos y análisis para prever fallos antes de que ocurran.
- **Eficiencia Energética:** Uso óptimo de la energía para minimizar el consumo sin sacrificar el rendimiento.
- **Huella de Carbono:** Medida del impacto de una actividad o proceso en la emisión de gases de efecto invernadero.
- **Ciclo de Vida del Producto:** Proceso completo desde la extracción de materias primas hasta la disposición final del producto.
- **Upcycling (Reciclaje Creativo):** Proceso de transformar desechos en nuevos productos de mayor valor.
- **Bioprocesos:** Procesos industriales que utilizan organismos vivos o sus componentes para fabricar productos o proporcionar servicios.
- **Ingeniería Genética:** Manipulación del material genético de un organismo para alterar sus características.
- **Nanomateriales:** Materiales con estructuras de tamaño nanométrico (1-100 nanómetros) que tienen propiedades únicas.
- **Nanocompuestos:** Materiales compuestos que incorporan nanopartículas para mejorar sus propiedades físicas y químicas.
- **Internet de las Cosas (IoT):** Red de dispositivos conectados que recopilan y comparten datos para mejorar procesos industriales.

- **Ciberseguridad:** Protección de sistemas informáticos contra accesos no autorizados y ataques.
- **Aprendizaje Permanente:** Proceso de adquirir nuevas habilidades y conocimientos a lo largo de la vida laboral.
- **Capacitación Técnica:** Formación específica en habilidades y conocimientos técnicos requeridos en un campo particular.
- **Optimización de Procesos:** Mejoramiento de la eficiencia y efectividad de los procesos industriales mediante análisis y ajustes.
- **Modelado y Simulación:** Uso de modelos matemáticos y simulaciones para predecir el comportamiento de procesos y sistemas.

Recomendamos observar los siguientes videos para facilitarle el aprendizaje de los contenidos expuestos en el presente capítulo:

Links: Innovación y el progreso tecnológico

<https://www.youtube.com/watch?v=l4wj61hScUQ>

<https://www.youtube.com/watch?v=bKG3aLwoABM>

<https://www.youtube.com/watch?v=AKoqRPTo7Oo>

<https://www.youtube.com/watch?v=dqUdqKqXmRE>

<https://www.youtube.com/watch?v=KnyVYKLSVys>

## Solucionario

- CAPÍTULO 1

SUBRAYE LA RESPUESTA CORRECTA

1B,2D,3B,4D,5B,6B,7A ,8A, 9B, 10B, 11C,12 B,13C

RELACIONE Y SUBRAYE

1 a, 2a

- CAPÍTULO 2

SUBRAYE LA RESPUESTA CORRECTA

1b, 2a,3b,4c, 5a, 6a,7c ,8c, 9d, 10d

RELACIONE Y SUBRAYE

2 A, 3A, 4 A

- CAPÍTULO 3

SUBRAYE LA RESPUESTA CORRECTA

1d, 2c, 3a, 4a, 5a

RELACIONE Y SUBRAYE

1A,2 A

- CAPÍTULO 4

SUBRAYE LA RESPUESTA CORRECTA

1c,2d,3c, 4a, 5a

RELACIONE Y SUBRAYE

1A ,2B

## Nomenclatura

### 1. Nomenclatura de Variables en Termodinámica

- Temperatura (T):

**Descripción:** Medida de la energía cinética promedio de las moléculas.

**Unidades:** Kelvin (K), Celsius (°C)

- Presión (P):

**Descripción:** Fuerza ejercida por un gas o líquido sobre las paredes del recipiente.

**Unidades:** Pascal (Pa), atmósferas (atm), bares (bar)

- Volumen (V):

**Descripción:** Espacio ocupado por una sustancia.

**Unidades:** Litros (L), metros cúbicos (m<sup>3</sup>)

- Entalpía (H):

**Descripción:** Energía total de un sistema, incluyendo la energía interna y el trabajo realizado por el sistema.

**Unidades:** Joules (J), kilojoules (kJ)

- Entropía (S):

**Descripción:** Medida del desorden o aleatoriedad de un sistema.

**Unidades:** Joules por Kelvin (J/K), kilojoules por Kelvin (kJ/K)

- Energía Libre de Gibbs (G):

**Descripción:** Energía disponible para realizar trabajo en un sistema a temperatura y presión constantes.

**Unidades:** Joules (J), kilojoules (kJ)

### 2. Nomenclatura de Variables en Cinética Química

- Constante de Velocidad (k):

**Descripción:** Valor que indica la rapidez con la que ocurre una reacción química.

**Unidades:** mol.L<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>

- Orden de Reacción (n):

**Descripción:** Número que indica cómo la velocidad de reacción depende de la concentración de los reactivos.

- Concentración de Reactivo (C):

**Descripción:** Cantidad de una sustancia presente en una unidad de volumen.

**Unidades:** Moles por litro (mol/L), moles por metro cúbico (mol/m<sup>3</sup>)

- Tasa de Reacción (r):

**Descripción:** Velocidad a la que los reactivos se convierten en productos.

**Unidades:** Moles por litro por segundo (mol/L·s)

### 3. Nomenclatura de Variables en Operaciones Unitarias

- Caudal (Q):

**Descripción:** Volumen de fluido que pasa por un punto específico en un tiempo determinado.

**Unidades:** Litros por minuto (L/min), metros cúbicos por hora (m<sup>3</sup>/h)

- Área de Transferencia de Calor (A):

**Descripción:** Superficie a través de la cual se transfiere el calor.

**Unidades:** Metros cuadrados (m<sup>2</sup>)

- Coeficiente de Transferencia de Calor (U):

**Descripción:** Medida de la eficacia de transferencia de calor entre dos fluidos.

**Unidades:** Watts por metro cuadrado por Kelvin (W/m<sup>2</sup>·K)

- Coeficiente de Transferencia de Masa (kc):

**Descripción:** Medida de la rapidez con la que se transfiere una sustancia entre fases.

**Unidades:** Metros por segundo (m/s), según el sistema específico.

### 4. Nomenclatura de Variables en Ingeniería de Reacciones

- Volumen de Reactor (Vr):

**Descripción:** Espacio disponible dentro del reactor para las reacciones.

**Unidades:** Litros (L), metros cúbicos (m<sup>3</sup>)

- Tiempo de Residencia (T)

**Descripción:** Tiempo promedio que un fluido permanece en el reactor.

**Unidades:** Horas (h), minutos (min)

- Concentración de Producto (Cp):

**Descripción:** Cantidad de producto formada en un volumen específico.

**Unidades:** Moles por litro (mol/L)

5. Nomenclatura de Variables en Control de Procesos

- Variable de Proceso (PV):

**Descripción:** Parámetro controlado o medido en un proceso.

- Señal de Control (u):

**Descripción:** Valor enviado a un controlador para ajustar el proceso.

- Variable de Salida (y):

**Descripción:** Resultado del proceso que se mide y controla.

6. Nomenclatura de Variables en Diseño de Plantas

- Capacidad de Planta (C):

**Descripción:** Máxima cantidad de producto que una planta puede procesar.

**Unidades:** Litros por día (L/día), toneladas por año (t/año)

- Factor de Seguridad (FS):

**Descripción:** Factor multiplicador usado para diseñar con un margen adicional.

7. Nomenclatura en Biotecnología y Nanotecnología

- Concentración de Biomasa (X):

**Descripción:** Cantidad de células vivas en una suspensión o cultivo.

**Unidades:** Gramos por litro (g/L), miligramos por mililitro (mg/mL)

- Tamaño de Nanopartículas (d):

**Descripción:** Dimensión de partículas a nivel nanométrico.

**Unidades:** Nanómetros (nm)

## Factores de conversiones

### 1. Conversión de Unidades de Concentración

- 1 molar (M) = 1 mol/L
- **1 molar (M)** = 1000 milimoles/L (mM)
- 1 milimolar (mM) = 0.001 M
- **1 molar (M)** = 1000 micromoles/L ( $\mu$ M)
- 1 micromolar ( $\mu$ M) = 0.000001 M

### 2. Conversión de Unidades de Volumen

- **1 litro (L)** = 1000 mililitros (mL)
- 1 mililitro (mL) = 0.001 L
- **1 litro (L)** = 1000 centímetros cúbicos ( $\text{cm}^3$ )
- 1 centímetro cúbico ( $\text{cm}^3$ ) = 0.001 L
- **1 litro (L)** = 1.0567 cuartos de galón (US qt)

### 3. Conversión de Unidades de Masa

- **1 kilogramo (kg)** = 1000 gramos (g)
- **1 gramo (g)** = 1000 miligramos (mg)
- 1 miligramo (mg) = 0.001 g
- 1 tonelada métrica (t) = 1000 kg
- **1 tonelada métrica (t)** = 1.10231 toneladas cortas (US tons)

### 4. Conversión de Unidades de Tiempo

- **1 hora (h)** = 60 minutos (min)
- **1 minuto (min)** = 60 segundos (s)
- **1 hora (h)** = 3600 segundos (s)
- **1 segundo (s)** = 0.01667 minutos (min)

### 5. Conversión de Unidades de Presión

- **1 atmósfera (atm)** = 101.325 kilopascales (kPa)
- 1 kilopascal (kPa) = 0.00987 atm
- **1 atmósfera (atm)** = 14.696 libras por pulgada cuadrada (psi)
- 1 libra por pulgada cuadrada (psi) = 0.06895 atm

### 6. Conversión de Unidades de Energía

- **1 julio (J)** = 0.239 calorías (cal)
- **1 caloría (cal)** = 4.184 julios (J)

- **1 kilojulio (kJ)** = 1000 julios (J)
  - **1 megajulio (MJ)** = 1,000,000 julios (J)
  - **1 caloría (cal)** = 4.184 julios (J)
7. Conversión de Unidades de Temperatura
- **°C a °F:**  $^{\circ}\text{F} = 1.8 \text{ }^{\circ}\text{C} + 32$
  - **°F a °C:**  $^{\circ}\text{C} = 5/9(^{\circ}\text{F} - 32)$
  - **°C a K:**  $\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$
  - **K a °C:**  $^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273.15$
8. Conversión de Unidades de Caudal
- 1 litro por minuto (L/min) = 0.001 m<sup>3</sup>/s
  - 1 metro cúbico por segundo (m<sup>3</sup>/s) = 1000 litros por segundo (L/s)
  - 1 galón por minuto (GPM) = 0.00378541 m<sup>3</sup>/s
9. Conversión de Unidades de Velocidad
- **1 metro por segundo (m/s)** = 3.6 kilómetros por hora (km/h)
  - **1 kilómetro por hora (km/h)** = 0.27778 metros por segundo (m/s)
  - **1 pie por segundo (ft/s)** = 0.3048 metros por segundo (m/s)
10. Conversión de Unidades de Concentración de Soluciones
- 1 molar (M) = 1 mol/L
  - 1 normal (N) = 1 eq/L
  - **1 molar (M)** = 0.1 N (para soluciones de ácido o base monopróticas)
11. Conversión de Unidades de Energía Específica
- **1 kilojoule por kilogramo (kJ/kg)** = 0.239 calorías por gramo (cal/g)
  - **1 caloría por gramo (cal/g)** = 4.184 kilojoules por kilogramo (kJ/kg)

Estos factores de conversión son fundamentales para realizar cálculos precisos en ingeniería química y asegurar que las unidades sean coherentes a lo largo de los procesos y análisis.

# **Referencias Bibliográficas**



## Referencias Bibliográficas

- Allen, D. T., & O'Neill, H. (2019). *\*Environmental Engineering and Science\** (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Alvarado, R. M., & López, J. A. (2016). La ingeniería química en Ecuador: Desarrollo y perspectivas. *\*Revista Ecuatoriana de Ingeniería Química, 15\*(2), 67-78.* <https://doi.org/10.1016/j.reciq.2016.07.002>
- Baird, J. (2021). Recent advances and future trends in chemical processes. *\*Chemical Engineering Progress, 117\*(2), 22-35.* <https://doi.org/10.1205/ces.2021.010203>
- Calleja Pardo, G., García Herruzo, F., de Lucas Martínez, A., Prats Rico, D., & M., J. (2017). *\*Fundamentos de Ingeniería Química\**. © EDITORIAL SÍNTESIS, S. A. Vallehermoso, 34 - 28015 Madrid.
- Correa-Salgado, M. de L., Herrera-Feijoo, R. J., Ruiz-Sánchez, C. I., & Guamán-Rivera, S. A. (2024). *Fundamentos de Bioquímica Vegetal*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.68>
- Coughanowr, D. R., & LeBlanc, S. E. (2017). *Process Systems Analysis and Control* (4th ed.). Wiley. (pp. 100-150)
- Coughlin, T., & Gough, J. (2009). *\*Liquid-Liquid Extraction\** (2nd ed.). Wiley.
- Crittenden, J. C., & Thomas, J. M. (2020). Environmental impact of chemical processes: A review. *\*Environmental Science & Technology, 54\*(4), 1182-1190.* <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b06120>
- Danckwerts, P. V. (1970). *\*Gas-Liquid Reactions\**. McGraw-Hill.
- DeLancey, G., & Abbott, M. M. (2020). *Principles of Chemical Engineering Practice*. CRC Press. (pp. 50-75)
- Felder, R. M., & Rousseau, R. W. (2005). *\*Elementary Principles of Chemical Processes\** (3rd ed.). Wiley.
- Fogler, H. S. (2016). *\*Elements of Chemical Reaction Engineering\** (5th ed.). Prentice Hall.
- Geankoplis, C. J. (2021). *Transport Processes and Separation Process Principles (Includes Unit Operations)* (5th ed.). Pearson. (pp. 200-250)
- Green, D. W., & Southard, M. Z. (2021). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (10th ed.). McGraw-Hill Education. (pp. 300-350)
- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2007). *\*Fundamentals of Heat and Mass Transfer\** (6th ed.). Wiley
- Johnson, M., & Taylor, R. (2021). Lifelong learning and continuing education in engineering: A review. *\*Engineering Education, 16\*(2), 112-127.* <https://doi.org/10.1080/01407007.2021.1935964>
- Kiener, M., & Sargent, R. (2011). *\*Advanced Control of Chemical Processes\**. Springer.

- King, C. J. (2017). *\*Separation Processes for the Industries of the Future\**. CRC Press.
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualising the circular economy: An analysis of 114 definitions. *\*Resources, Conservation and Recycling\**, 127\*, 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Kroschwitz, J. I. (Ed.). (2000). *\*Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology\** (4th ed.). Wiley.
- Kuczynski, P., & Williams, L. (2020). *\*Trends in Chemical Engineering: Innovations and Future Directions\**. Elsevier.
- Lee, J., Lapira, E., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2013). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *\*Manufacturing Letters\**, 1\*(1), 18-23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2013.10.002>
- Levenspiel, O. (1999). *\*Chemical Reaction Engineering\** (3rd ed.). Wiley.
- Luyben, W. L. (2015). *\*Process Modeling, Simulation, and Control for Chemical Engineers\** (3rd ed.). Wiley.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (2005). *\*Unit Operations of Chemical Engineering\** (7th ed.). McGraw-Hill.
- Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2017). *\*Lehninger Principles of Biochemistry\** (7th ed.). W.H. Freeman and Company.
- Perry, R. H., & Green, D. W. (2008). *\*Perry's Chemical Engineers' Handbook\** (8th ed.). McGraw-Hill.
- Peters, M. S., & Timmerhaus, K. D. (2003). *\*Plant Design and Economics for Chemical Engineers\** (5th ed.). McGraw-Hill.
- Raff, J. (2018). Continuous distillation: Advances and applications. *\*Chemical Engineering Journal\**, 342\*, 238-251. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.01.067>
- Ratner, M., & Ratner, D. (2003). *\*Nanotechnology: A Gentle Introduction to the Next Internet Revolution\**. Prentice Hall.
- Ray, R. N., & Minocha, S. (2018). *\*Teaching and Learning in Engineering\** (2nd ed.). Wiley.
- Rodríguez Maroto. *Introducción de la Ingeniería Química* © EDITORIAL SÍNTESIS, S. A. Vallehermoso, 34 - 28015 Madrid.
- Ruiz Sánchez, C. I., Herrera-Feijoo, R. J., & Correa-Salgado, M. de L. (2024). *Fundamentos teóricos de química orgánica*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.79>
- Schwab, K. (2017). *\*The Fourth Industrial Revolution\**. Crown Business.
- Seborg, D. E., Edgar, T. F., & Mellichamp, D. A. (2016). *\*Process Dynamics and Control\** (4th ed.). Wiley.

- Seidel, S. (Ed.). (2020). \*Sustainability in Chemical Engineering: Challenges and Solutions\*. Wiley-VCH.
- Sienkiewicz, M. A., & Allen, T. J. (2018). \*The History of Chemical Engineering\*. Springer.
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., & Abbott, M. M. (2018). Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics (8th ed.). McGraw-Hill Education. (pp. 80-120)
- Smith, R. (2021). Future directions in chemical engineering: A review. \*Chemical Engineering Journal\*, 408\*, 123-136.  
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127654>
- Towler, G., & Sinnott, R. (2020). Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design (3rd ed.). Elsevier. (pp. 180-220)
- Turton, R., Bailie, R. C., Whiting, W. B., & Shaeiwitz, J. A. (2018). \*Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes\* (5th ed.). Prentice Hall.

El libro nos lleva a explorar los orígenes de la ingeniería química y como ha evolucionado a lo largo del tiempo, pasando de ser una disciplina descriptiva a una más científica y abstracta. Nos presenta la estructura y los objetivos de la ingeniería en la actualidad, como así su importancia creciente en diferentes sectores industriales y las tendencias que marcarán su futuro. También se enfoca en los procesos químicos, analizando su estado actual y las perspectivas que tenemos, con un énfasis especial en su impacto ambiental y la necesidad de usar los recursos energéticos de manera más responsable. A medida que avanzamos, el libro introduce términos clave para entender las operaciones básicas en esta área, clasificándolas de diferentes maneras y explicando el concepto de variable de diseño con ejemplos claros. Para facilitar la comprensión, al final hay un cuadro-resumen que destaca los objetivos más relevantes. Además, subraya la importancia de la innovación y el proceso tecnológico en la ingeniería química para enfrentar los desafíos globales, explorando avances en sostenibilidad, biotecnología, nanotecnología, digitalización y educación continua. Todo esto es fundamental para formar ingenieros químicos que sepan gestionar los recursos y procesos industriales de manera efectiva.

**Palabras Clave:** química, tecnología, industria, procesos.

### Abstract

The book takes us to explore the origins of chemical engineering and how it has evolved over time from a descriptive discipline to a more scientific and abstract one. It presents the structure and objectives of engineering today, as well as its growing importance in different industrial sectors and the trends that will mark its future. It also focuses on chemical processes, analyzing their current state and the prospects we have, with a special emphasis on their environmental impact and the need to use energy resources more responsibly. As we progress, the book introduces key terms to understand the basic operations in this area, classifying them in different ways and explaining the concept of design variable with clear examples. To facilitate understanding, at the end there is a summary table highlighting the most relevant objectives. In addition, it highlights the importance of innovation and technological process in chemical engineering to face global challenges, exploring advances in sustainability, biotechnology, nanotechnology, digitalization and continuing education. All this is fundamental to train chemical engineers who know how to manage resources and industrial processes effectively.

**Keywords:** chemistry, technology, industry, processes.



<http://www.editorialgrupo-aea.com>



[Editorial Grupo AeA](#)



[editorialgrupoea](#)



[Editorial Grupo AEA](#)

# RESUMEN

ISBN: 978-9942-651-58-7



9 789942 651587