

# El papel de los ingenieros químicos del siglo XXI: liderar la transformación global a través de la innovación tecnológica y la sostenibilidad

## Role of chemical engineers in the 21st century: leading global transformation through technological innovation and sustainability

*Mario Alberto López Mendoza<sup>\*†</sup>*  
*Mario Edgar Cordero Sánchez<sup>‡</sup>*  
*Luis Guadalupe Zárate López<sup>§</sup>*  
*Yvette Ollivier Palacios<sup>\*\*</sup>*  
*Daniel Pedraza Hernández<sup>††</sup>*  
*Guillermo Palomino Downham<sup>‡‡</sup>*

### Resumen

La ingeniería química se posiciona como una disciplina clave para afrontar los retos globales en sostenibilidad y desarrollo tecnológico de las próximas décadas. Su contribución será fundamental en áreas estratégicas como la sostenibilidad, la economía circular, la nanotecnología, la transición energética y la biología molecular. En el presente artículo se discuten aspectos relativos a la forma como los ingenieros químicos liderarán el diseño de procesos industriales más eficientes y sostenibles, reduciendo el consumo de recursos y minimizando sus emisiones. A través de la economía circular, se impulsarán tecnologías para reciclar, reutilizar y valorizar residuos, promoviendo sistemas industriales que signifiquen verdaderos ciclos productivos. Asimismo, se argumenta cómo el trabajo sinérgico entre la nanotecnología, la ingeniería molecular y la ingeniería química permitirá la creación de materiales avanzados y dispositivos con propiedades innovadoras, con aplicaciones en energía, medicina, química y medio ambiente. Ello permitirá enfrentar desafíos significativos como la

---

\* Escuela de Ingeniería Química Industrial, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, marioalberto.lopez01@upaep.mx

† Escuela de Ingeniería Química Industrial, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla.

‡ Escuela de Ingeniería Química Industrial, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla.

§ Escuela de Ingeniería Química Industrial, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla.

\*\* Escuela de Ingeniería Química Industrial, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla.

†† Escuela de Ingeniería Química Industrial, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla.

‡‡ Escuela de Ingeniería Química Industrial, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla.

remediación ambiental, la accesibilidad universal al agua, la captura de CO<sub>2</sub> y la promoción de las energías limpias. Respecto a la transición energética, la ingeniería química desarrollará tecnologías para producir, almacenar y utilizar energías renovables, como celdas de combustible, baterías avanzadas y biocombustibles. La integración con la biología molecular transformará a la ingeniería química, permitiendo diseñar bioprocesos y biofábricas basados en microorganismos modificados genéticamente para producir medicamentos, bioplásticos y alimentos funcionales, promoviendo soluciones sostenibles en salud y alimentación. En resumen, se presenta un enfoque que apunta a que la ingeniería química será un motor de innovación que fusionará ciencia, tecnología y sostenibilidad, estableciendo un nuevo paradigma en la construcción de un futuro más equitativo y respetuoso con el medio ambiente.

**Palabras Clave:** ingeniería química verde, sostenibilidad, transición energética, nanotecnología.

## Abstract

Chemical engineering is positioned as a key discipline to face the global challenges in sustainability and technological development in the coming decades. Its contribution will be fundamental in strategic areas such as sustainability, circular economy, nanotechnology, energy transition and molecular biology. Chemical engineers will lead the design of more efficient and sustainable industrial processes, reducing resource consumption and minimizing emissions; through the circular economy, they will promote technologies to recycle, reuse and valorize waste materials, promoting industrial systems that mean factual production cycles. Through synergistic work with nanotechnology and molecular engineering, chemical engineering will allow the creation of advanced materials and devices with innovative properties, applicable in energy, medicine, chemistry and environmental sciences which will face significant challenges such as environmental remediation, universal access to water, CO<sub>2</sub> capture and the promotion of clean energy. In order to promote the energy transition, chemical engineering will develop technologies to produce, store and use renewable energy, such as fuel cells, advanced batteries and biofuels. Integration with molecular biology will transform chemical engineering, allowing the design of bioprocesses and biofactories based on genetically modified microorganisms to produce medicines, bioplastics and functional foods, promoting sustainable solutions in health and nutrition. In summary, chemical engineering will be a driving force of innovation that will merge science, technology and sustainability, enacting a new paradigm in the construction of a socially more equitable and an environmental-friendly future.

**Keywords:** green chemical engineering, sustainability, energy transition, nanotechnology.

## 1 Introducción

El American Institute of Chemical Engineers (AIChE) define a la ingeniería química como la profesión en la cual el conocimiento de la matemática, química y otras ciencias básicas son

adquiridas por el estudio, la experiencia y la práctica. Dicho conocimiento, además, es aplicado con juicio para desarrollar procesos económicos respecto al uso de materiales y energía para el beneficio de la humanidad (Álvarez-Borroto, et. al.). Esta definición puede parecer ambigua, pero en realidad muestra el gran campo de acción de la disciplina.

La ingeniería química aparece formalmente como profesión en la segunda mitad del siglo XIX, a partir de las necesidades de industrias nacientes. Por ejemplo, contar con personal experto en operaciones industriales, pero con amplios conocimientos de química. Tal fue el caso de industrias sustantivas como las de producción de carbonato de sodio, la petroquímica y la de ácido sulfúrico, que siguen siendo fundamentales aún en la actualidad. En esa época, lo más cercano a este tipo de profesionales era un ingeniero mecánico con alguna formación en química, un ingeniero de planta con gran experiencia empírica (pero sin formación teórica o formal) o un químico con experiencia en reactores industriales. Bajo este contexto, la ingeniería mecánica se asoció a la maquinaria utilizada en procesos industriales, la química industrial al diseño de los productos, y la química aplicada a las reacciones individuales en una escala de producción baja. Así, la ingeniería química surge para enfocarse en las operaciones unitarias, comunes a todos los procesos químicos.

Desde su aparición como profesión, la ingeniería química ha sido un área fundamental para el desarrollo económico y para la innovación industrial y tecnológica de las sociedades a nivel global. De acuerdo con el reporte publicado en 2019 por Oxford Economics, la industria química produce cerca de 100000 productos diferentes, que satisfacen necesidades específicas, a nivel global afecta a casi todos los sectores de bienes y servicios, y contribuye con un estimado de 5.7 billones de dólares a la producción económica mundial, lo que representa el 6% del PIB mundial, tal como se muestra en la Tabla 1; a través de impactos directos, indirectos e inducidos, cobra

gran importancia debido a su trascendencia en sectores como la manufactura, la agricultura, la producción farmacéutica y de energía (AIChE, 2024).

**Tabla 1. Distribución del PIB por sector o ramo industrial.**

Sector/Industria	Valor estimado del PIB (billones USD)	% contribución al PIB	Comentarios
Química	5 - 6	5 - 6	Proveedor clave para manufactura, salud, energía, y agroindustria.
Salud y farmacéutica	6 - 7	5 - 6	Incluye servicios de salud, dispositivos médicos y productos farmacéuticos.
Agricultura y alimentos	4 - 5	3 - 4	Incluye producción primaria y procesamiento de alimentos.
Tecnología y telecomunicaciones	8 - 9	6 - 7	Impulsado por servicios digitales, dispositivos y conectividad global.
Construcción e infraestructura	10 - 11	7 - 8	Incluye proyectos residenciales, comerciales, y de infraestructura pública.
Turismo y servicios recreativos	4 - 5	3 - 4	En recuperación tras la pandemia, con énfasis en turismo local e internacional

El quehacer de los ingenieros químicos permitió la refinación del petróleo a finales del siglo XIX y con ello el florecimiento de la industria automotriz y de transporte, así como la industrialización de numerosos sectores. Por su parte, el desarrollo del proceso catalítico para la producción de amoníaco (en las primeras décadas del siglo XX), que impulsó la industria de fertilizantes y con ello la agricultura extensiva, representa otro de los hitos importantes en el desarrollo tecnológico promovido por la ingeniería química; la producción anual de amoniaco es de aproximadamente 200 millones de toneladas anuales, lo que lo hace el proceso de síntesis química más importante a nivel mundial debido al uso amplio que tiene el amoníaco en diversas industrias: el 80% se destina a la fabricación de fertilizantes (urea, nitrato de amonio y fosfato

diamónico), mientras que el resto es utilizado en la síntesis de otros productos químicos como explosivos para minería, plásticos, fibras sintéticas (como el nylon), colorantes, además de utilizarse ampliamente como refrigerante (R717).

Es destacable también el desarrollo de los polímeros sintéticos (como el polietileno, el poliuretano o el nylon), que propulsó la industria plástica y el uso extendido de estos materiales debido a sus propiedades mecánicas y su ligereza. Estos y muchos más hitos han contribuido a la construcción del estilo de vida del que disfrutamos hoy en día. Sin embargo, ello también ha conllevado al deterioro ambiental, derivado de las actividades de las numerosas ramas de la industria química. Esta es la irónica dualidad de la industria química: ha servido como un motor de desarrollo, pero con un costo considerable a nivel ambiental. Es en esta dualidad donde reside el más grande de los paradigmas de la ingeniería química del siglo XXI: lograr que los principios de sostenibilidad y economía circular permeen en la operación de los procesos químicos industriales, manteniendo los beneficios y satisfactores que actualmente nos brindan (Ramírez et al., 2016).

Bajo el contexto anterior, el presente trabajo presenta las perspectivas que motivarán y delimitarán el desarrollo de la ingeniería química en las próximas décadas. Dicha prospectiva es necesaria pues los años por venir estarán marcados por la creciente tendencia a la innovación centrada en la incorporación de los principios de sostenibilidad y economía circular en la producción de bienes y servicios, así como el desarrollo tecnológico fundamentado en energías más limpias, y el desarrollo de materiales cada vez más robustos y funcionales. Se discute, además, el rol fundamental que tiene la educación en ingeniería química en la consecución de dichos objetivos.

## 2 Sostenibilidad, economía circular e ingeniería química verde

La sostenibilidad va más allá de un término de moda. Ésta involucra una perspectiva integral de desarrollo que persigue equilibrar la satisfacción de las necesidades humanas y sociales presentes con comprometer la capacidad de solventar aquellas de las generaciones futuras, desde una perspectiva ambiental, social y económica. El trasfondo que involucra la sostenibilidad ha derivado en que hoy en día sea un imperativo ético y práctico que no es ajeno a la ingeniería química. Sin lugar a dudas, la sostenibilidad es y será la prioridad para el desarrollo de la ingeniería química en las próximas décadas como estrategia para mitigar el impacto del cambio climático, enfrentar la escasez de recursos naturales y reducir el impacto ambiental de las actividades de la industria química. La premisa central es lograr alinear las actividades de la industria química con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODSs) presentados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en 2015. La idea suena sencilla en principio, pero conlleva numerosas implicaciones técnicas, económicas, sociales y culturales, que deberán ser analizadas y contextualizadas por los ingenieros químicos durante las próximas dos décadas.

Los esbozos fundamentales de esta perspectiva tienen su origen en los principios de la Química Verde, planteados por Anastas y Warner (1998); el gran reto para los ingenieros químicos en las décadas por venir radica en garantizar que el diseño y operación de los procesos químicos industriales se apeguen lo más posible a los siguientes doce principios: prevenir la generación de residuos, maximizar el rendimiento de los procesos (reduciendo la formación de subproductos), priorizar el uso de sustancias seguras en los procesos de síntesis, diseñar productos seguros, evitar el uso de sustancias auxiliares, minimizar el consumo energético, usar recursos renovables siempre que se posible, evitar el uso innecesario de derivados, incrementar

el uso de catalizadores, diseñar productos cuya degradación conduzca a productos inocuos, analizar los procesos en tiempo real y minimizar los riesgos asociados a ellos. En este sentido, Sheldon (2017) enfatiza la importancia que tendrá la incorporación de métricas objetivas que midan no solo la eficiencia atómica y energética de los procesos y productos, sino también indicadores que evalúen el impacto ambiental (como el análisis de ciclo de vida) y la viabilidad económica de los procesos y productos.

A la par de la implementación de soluciones técnicas apegadas a los principios de la química verde, se espera que en las siguientes décadas la industria química sea también capaz de incorporar en su operación el modelo de economía circular. Éste es concebido como un esquema de producción y consumo que implica reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes tantas veces como sea posible dentro de su ciclo de vida, con el fin de generar valor agregado a la par de mitigar su impacto ambiental y social. Keijer et al. (2019) son tajantes al afirmar que la industria química debe adoptar el modelo de economía circular (denominado como química circular) en la producción de productos químicos, optimizando la eficiencia de los recursos a través de las cadenas de valor de esta industria y haciendo posible la generación de procesos químicos libres de residuos. Bajo esta mirada, los ingenieros químicos estamos llamados en las siguientes décadas a desarrollar tecnologías que permitan a la industria química transitar hacia procesos en los que se aprovechen al máximo las materias primas, se minimice el uso de agua y energía, se generen menores cantidades de residuos y emisiones, y que resulten en productos que sean fácilmente degradables y reutilizables.

La integralidad de los conceptos descritos anteriormente se resumirá en las décadas próximas en la llamada Ingeniería Química Verde que se enfocará en el diseño, implementación y optimización de productos, procesos y soluciones de ingeniería encaminados a solventar

necesidades sociales y de mercado con una verdadera conciencia de los beneficios potenciales equilibrados con los efectos sobre el medio ambiente, la economía y la sociedad a través de un análisis profundo del ciclo de vida de los productos y procesos. Para lograr estos objetivos es fundamental la colaboración cercana entre el sector industrial, la academia y el sector gubernamental, tal como lo apuntaron recientemente diversos líderes de la ingeniería química (ICChemE, 2024).

La educación universitaria es por tanto un pilar fundamental en la consecución de estos fines, tal como apuntan Meyer y sus colaboradores (2022). Es por ello que las universidades encargadas de la formación de los futuros ingenieros químicos estamos llamadas a apuntalar nuestros esfuerzos para fomentar una cultura de sostenibilidad en la industria química a través de nuestras tres funciones sustantivas: la docencia, la investigación y la extensión. De esta manera, la sostenibilidad pasará de ser un concepto meramente formativo a concretarse en un verdadero movimiento de transformación tanto a nivel industrial como comunitario.

### **3 Transición energética: de la movilidad a la energética de los procesos.**

Aunado a lo descrito en la sección previa, la ingeniería química desempeñará un papel crucial en la transición energética hacia fuentes más sostenibles, abordando desafíos tanto en la industria como en la vida cotidiana mediante la innovación, la optimización y el desarrollo tecnológico. En este marco, la electromovilidad supone la alternativa más viable para dejar atrás el uso de combustibles fósiles; ello presenta valiosas oportunidades de innovación en el campo de la ingeniería química, desde donde habrán de surgir los adelantos tecnológicos que permitan

la producción de baterías y sistemas de almacenamiento de energía más robustos y con costos competitivos (Centi, 2020; Busca, 2024).

Los ingenieros químicos también serán responsables del diseño y mejora de los procesos involucrados en la producción de energía renovable, como biocombustibles, hidrógeno verde y combustibles sintéticos. Mediante la optimización de las rutas de síntesis química, se reducirán los costos y se aumentará la eficiencia de estas tecnologías, haciéndolas más competitivas frente a los combustibles fósiles. Ejemplos de ello serán la conversión de biomasa en bioenergía, la síntesis catalítica de amoníaco para almacenamiento de hidrógeno, el pirólisis de materiales plásticos, la fermentación de residuos orgánicos para producir biogás y el diseño de celdas de combustible, las cuales serán áreas clave para satisfacer la creciente demanda de energía limpia a nivel global (Álvarez-Borroto et. al., 2017). Este trabajo de innovación deberá ir de la mano de una colaboración activa con los gobiernos, las empresas y la sociedad civil para liderar la educación y la concienciación sobre la necesidad de la sostenibilidad energética, promoviendo políticas energéticas basadas en datos científicos e incentivando el uso responsable de los recursos energéticos (Meyer et. al., 2022).

La industria química, siendo uno de los mayores emisores de gases de efecto invernadero, deberá hacer más eficientes sus procesos, energéticamente hablando. De acuerdo con Moiola (2022) y Lau (2021), el papel de los ingenieros químicos deberá centrarse en la integración de los principios de la intensificación de procesos, la recuperación de energía y la descarbonización de los procesos, con el fin de reducir significativamente la huella de carbono en sectores como la petroquímica, la industria del cemento, la metalurgia y la química básica. Adicionalmente, la implementación de modelos basados en inteligencia artificial y simulaciones avanzadas permitirá prever y mitigar impactos ambientales, minimizando el consumo de recursos no renovables

(Tovar-Facio, 2021). En este mismo sentido, uno de los grandes retos que deberá acometer la ingeniería química en las siguientes décadas será la incorporación de energías más sostenibles en la operación de los procesos químicos industriales, con miras a la sustitución del uso de combustibles fósiles en operaciones tan comunes como el calentamiento de corrientes de proceso o la producción de potencia para la operación de las plantas industriales. En este rubro, la electrificación de los procesos químicos se presenta como una de las alternativas más prometedoras, pero también la que representa un mayor reto para tal fin (Mallapragada et al., 2021).

En resumen, la ingeniería química será un motor de cambio hacia un futuro energético más sostenible, contribuyendo a ello mediante la creación de tecnologías innovadoras, la reducción del impacto ambiental de los procesos industriales, el diseño de materiales avanzados y el desarrollo de productos accesibles para el público; el logro de esta meta demanda de los futuros ingenieros químicos integrar la ciencia con el compromiso social para abordar los desafíos energéticos del mañana, impronta que deberá sembrarse desde su formación en los espacios universitarios.

## **4 Integración de la biología molecular en el quehacer del ingeniero químico**

Desde su origen, el cuerpo disciplinar de la biología es considerado un núcleo importante de la ingeniería química. Derivado de esta interacción han surgido los avances de las décadas recientes en el campo de la biotecnología y los bioprocesos. Los resultados positivos obtenidos de esta sinergia propiciarán en el futuro cercano la incorporación de los conocimientos de

biología molecular en el ejercicio de la ingeniería química. Esto será fundamental para abordar los retos en aspectos relacionados con la sostenibilidad, la salud y la tecnología.

La ingeniería química se beneficiará del entendimiento profundo de los mecanismos bioquímico-moleculares para diseñar procesos biotecnológicos más eficientes que se apeguen a los principios de la ingeniería verde descritos en la sección 2. El conocimiento de la biología molecular permitirá también optimizar la producción de enzimas, proteínas y metabolitos de interés industrial a través de técnicas como la ingeniería genética y la biología sintética. Con ello se permitirá la modificación de microorganismos para producir bioplásticos, biocombustibles y productos farmacéuticos de manera más económica y sostenible, reduciendo la dependencia de materias primas fósiles (Westmoreland y McCabe, 2018).

La integración entre la biología molecular y la ingeniería química permitirá también diseñar y producir enzimas altamente específicas y eficientes aplicables a los procesos de síntesis de la industria química. Los biocatalizadores tendrán aplicaciones en sectores como la química verde y la química fina, en donde potencialmente podrían reemplazar a los catalizadores químicos tradicionales (fabricados a partir de metales de transición), disminuyendo la generación de residuos tóxicos. Esto será especialmente importante en la industria farmoquímica focalizada en la producción de medicamentos personalizados, la cual requiere de procesos precisos para sintetizar compuestos farmacéuticos específicos (Westmoreland y McCabe, 2018). De manera similar, se espera que con el avance de la biología molecular, los ingenieros químicos sean capaces de modificar rutas metabólicas en organismos vivos para convertirlos en biofábricas, permitiendo con ello la producción de una amplia gama de productos de alto valor agregado, como biopolímeros, alimentos funcionales y compuestos químicos complejos. Asimismo, la biología molecular facilitará el desarrollo de microorganismos diseñados para capturar y

convertir dióxido de carbono en productos útiles, como biocombustibles y biomateriales. Este enfoque resulta clave para reducir las emisiones contaminantes industriales y mitigar el cambio climático (Fernández-Niño y Burgos-Toro, 2022).

La biología molecular también representa un área de oportunidad importante para el desarrollo de nuevos materiales bioinspirados con propiedades únicas, como polímeros autorreparables, biomasas funcionales o adhesivos basados en proteínas, mismos que tendrán aplicaciones potenciales en campos tan variados como la medicina regenerativa y la liberación controlada de fármacos altamente específicos. En este sentido, el reto para los ingenieros químicos radica en diseñar tanto los métodos de síntesis de dichos materiales como el diseño de los procesos escalables y eficientes para su manufactura.

En conclusión, la integración de la biología molecular en la ingeniería química redefinirá el alcance de ambas disciplinas, permitiendo construir un puente entre la química, la biología y la tecnología. En las próximas décadas, los ingenieros químicos tendrán un papel central en el diseño de procesos biotecnológicos avanzados, el desarrollo de materiales bioinspirados y la creación de soluciones sostenibles a problemas globales. Esta sinergia será esencial para enfrentar desafíos en temas de salud, energía y medio ambiente, marcando un nuevo paradigma en la ingeniería. Para que esta realidad sea posible es necesario que las universidades reformulen los programas educativos de ingeniería química para incorporar conocimientos de biología molecular, genética y bioinformática, con el fin de garantizar una formación que combine las habilidades tradicionales de la ingeniería química con las competencias en ciencias de la vida.

## 5 Una nueva generación de materiales para un mundo en transformación

Históricamente, la ingeniería química ha sido el área responsable del diseño y síntesis de los materiales que se utilizan cada día para satisfacer las necesidades industriales, sociales y de mercado. Algunos ejemplos de esto son los catalizadores que se utilizan para hacer más eficientes los procesos químicos, los plásticos y polímeros que sirven como materia prima para la producción de numerosos satisfactores como ropa, utensilios, automóviles y mobiliario, el cemento e incluso los cerámicos que sirven de recubrimiento para las naves espaciales. Hacia las próximas décadas, la ingeniería química seguirá siendo punta de lanza en el diseño y desarrollo de materiales avanzados que hagan frente a las necesidades del mundo cambiante en el que vivimos, ello bajo una mirada centrada en la sostenibilidad en la que ya no solo se deberán desarrollar materiales con mínimo impacto sobre el medio ambiente, sino que deberán crearse materiales que contribuyan a mitigar los efectos ambientales de los materiales del siglo XX. Este contexto deja claro que en las décadas venideras veremos una sinergia significativa entre la ingeniería química, la ingeniería molecular y la nanotecnología. A través de los principios de síntesis, diseño de procesos y optimización a nivel molecular, estas tres disciplinas impulsarán la innovación en diversos sectores clave como la energía, la salud, la electrónica y el medio ambiente (Salaheldeen, Danafar y Rafsanjani, 2015).

De acuerdo con numerosos expertos, el diseño y síntesis de nuevos materiales avanzados se centrará en la utilización de técnicas de simulación molecular (asistida en muchos casos por inteligencia artificial), modelado termodinámico y métodos de síntesis controlados y asistidos por herramientas digitales, haciendo posible diseñar materiales avanzados como

superconductores (para aplicaciones energéticas), polímeros y biomateriales inteligentes (con aplicaciones en diversos campos como la medicina, la agricultura y los envases inteligentes), metamateriales, entre otros. Estos avances se traducirán en tecnologías más eficientes y sostenibles, desde baterías de mayor densidad energética hasta recubrimientos que prolonguen la vida útil de las infraestructuras.

En el campo de los nanomateriales, la ingeniería química contribuirá al desarrollo de nanopartículas, nanotubos y nanocompuestos que hagan frente a diversas necesidades como la liberación controlada de fármacos (lo que permitirá tratamientos más efectivos con menores efectos secundarios), la purificación de agua, la captura de contaminantes y la remediación de ambientes contaminados, así como la fabricación de materiales avanzados para la conversión y almacenamiento de energía (celdas solares de nueva generación, baterías de estado sólido y supercapacitores). En este sentido, Malik, Muhammad y Waheed (2023) enfatizan que será esencial el trabajo de los ingenieros químicos para escalar la producción de materiales avanzados y nanomateriales desde el laboratorio hasta el nivel industrial, garantizando procesos económicamente viables y sostenibles. Ello se conseguirá mediante la aplicación de tecnologías innovadoras como el uso de reactores de flujo continuo para controlar la síntesis de nanopartículas con alta reproducibilidad, la implementación de tecnologías de intensificación de procesos para minimizar el consumo de energía y recursos. Igualmente será necesaria la incorporación de técnicas de simulación multiescala para optimizar el diseño de procesos y predecir las propiedades de los materiales. Ello permitirá la producción y comercialización de materiales avanzados a un costo competitivo, promoviendo su adopción masiva.

Como se ha mencionado antes, el desarrollo de catalizadores es una de las áreas de mayor importancia y contribución entre la ingeniería química y la ciencia de materiales. Se espera que

lo siga siendo en las décadas próximas en las que será indispensable la síntesis de catalizadores avanzados que hagan los procesos químicos y electroquímicos más eficientes. La sinergia entre la ingeniería química y la nanotecnología impulsará la innovación encaminada a la síntesis de catalizadores basados en nanopartículas metálicas para reacciones de alta selectividad en química verde como la producción fotocatalítica de hidrógeno o la conversión de dióxido de carbono. Será también relevante el uso de nanomateriales avanzados, como el grafeno, para acelerar reacciones electroquímicas en baterías y celdas de combustible que permitan hacer realidad la electromovilidad y la electrificación de los procesos químicos. Estos avances serán claves en la transición hacia una economía con menor huella de carbono y en la producción de energías limpias (Zhang y Cue, 2012).

A la par de las aplicaciones para la industria química, la ingeniería química desempeñará un papel crucial en la fabricación de materiales avanzados para dispositivos electrónicos. Por ejemplo, semiconductores avanzados para computadoras cuánticas y dispositivos más eficientes, nanomateriales flexibles para pantallas, sensores y dispositivos portátiles, así como memorias no volátiles y transistores basados en materiales moleculares. Los últimos materiales permitirán avances en la miniaturización y en la integración de sistemas electrónicos en múltiples aplicaciones, desde dispositivos médicos hasta telecomunicaciones.

Sin lugar a dudas, el área que causa mayor interés radica en el diseño de materiales avanzados que minimicen el impacto ambiental. En este campo se espera que los ingenieros químicos lideren los esfuerzos para la síntesis y la producción a gran escala de materiales biodegradables y reciclables que reemplacen a los plásticos tradicionales; nanocompuestos ligeros que reduzcan el consumo energético en transporte y absorbentes avanzados para

remediación de ecosistemas contaminados, entre otras aplicaciones, contribuyendo de forma directa a la implementación de esquemas de economía circular e ingeniería química verde.

## 6 Conclusiones

En resumen, la ingeniería química será una pieza clave en el diseño y la producción de materiales avanzados en las próximas décadas. La capacidad de los ingenieros químicos para integrar principios fundamentales con tecnología aplicada permitirá la creación de materiales y procesos que transformarán diversas industrias, mejorarán la calidad de vida y promoverán un desarrollo más sostenible, dando forma al futuro de la innovación.

Como se ha mencionado antes, es fundamental el compromiso de las universidades formadoras de ingenieros químicos con la consecución de los retos tecnológicos que demandará el ejercicio de nuestra profesión en las próximas décadas. Es bajo esta premisa que al interior de la Escuela de Ingeniería Química Industrial de UPAEP se ha construido un modelo de formación centrado en el desarrollo de procesos y productos más sostenibles, principios que son incorporados de manera permanente en los procesos de docencia, tanto a nivel conceptual como experimental, desde el comienzo del trayecto universitario de nuestros estudiantes hasta el momento de su egreso. Este modelo es fortalecido mediante la vinculación de los estudiantes en actividades de investigación, vinculación y extensión.

Dentro de la Escuela de Ingeniería Química Industrial se desarrollan actualmente esfuerzos de investigación encaminados al modelamiento matemático de sistemas multifísicos asociados a la reducción de riesgos industriales, un área que pretende disminuir considerablemente el impacto de los procesos y productos industriales e incrementar la sostenibilidad en la industria química.

Son también importantes los esfuerzos centrados en la investigación de tecnologías relacionadas con la optimización e intensificación de procesos químicos; en este campo se realizan actualmente esfuerzos relacionados con el estudio de microrreactores aplicables a procesos de síntesis tan significativos como la producción de amoníaco o la captura de dióxido de carbono.

El modelo de formación se complementa con la vinculación y la extensión de las actividades universitarias a través de la relación con agentes estratégicos del sector industrial, quienes a través de esquemas de colaboración como conferencias, pláticas o visitas industriales comparten con los estudiantes la relevancia de la sostenibilidad y la innovación en su quehacer profesional.

## References

- ÁLVAREZ-BORROTO, R., STAHL, U., CABRERA-MALDONADO, E.V. Y ROSERO-ESPÍN M.V. (2017). “Los paradigmas de la ingeniería química: las nuevas fronteras”, *Educación Química*, **28**, 196-201.
- OXFORD ECONOMICS. (2019). “The Global Industry: Catalyzing Growth and Addressing Our World’s Sustainability Challenges”.
- AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS. (2024). What do Chemical Engineers Do?
- RAMÍREZ, C.C., ZARTHA, J.W., ARANGO, B. Y OROZCO, G.L. (2016). “Prospectiva 2025 de la carrera de Ingeniería Química en algunos países pertenecientes a la Organización de Estados Americanos (OEA)”, *Formación Universitaria*, **9**(6), 127–138.
- ANASTAS, P. T., Y WARNER, J. C. (1998). *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford University Press.
- SHELDON, R.A. (2017). “Metrics of Green Chemistry and Sustainability: Past, Present, and Future”, *ACS Sustainable Chem. Eng.*, **6**(1), 32–48.
- KEIJER, T., BAKKER, V. Y SLOOTWEG, J.C. “Circular chemistry to enable a circular economy”, *Nature Chem.*, **11**, 190-195.

- THE INSTITUTION OF CHEMICAL ENGINEERS. (2024). *Engineering a Sustainable World. The Challenge of Chemical Engineering*.
- MEYER, TH., SCHAER, E., ABILDSKOV J., FEISE, H., GLASSEY, J., LIAUW, M., SÚILLEABHÁIN, C.O. Y WILK, M. (2022). “The importance/role of education in chemical engineering”. *Chem. Eng. Res. And Design.*, **187**, 164-173.
- CENTI, G. (2020). “Smart catalytic materials for energy transition”. *SmarMat.*, **1**(1), 1-3.
- BUSCA, G. (2024). “Critical Aspects of Energetic Transition Technologies and the Roles of Materials Chemistry and Engineering”. *Energies*, **17**(14), 3565.
- MOIOLI, E. (2022). “Process intensification and energy transition: a necessary coupling?”. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, **179**(14), 109097.
- LAU, H.C., RAMAKRISHNA, S., ZHANG K. Y RADHAMANI, A.V. (2021). “The Role of Carbon Capture and Storage in the Energy Transition”. *Energy Fuels*, **35**(9), 7364–7386.
- TOVAR-FACIO, J., MARTÍN, M. Y PONCE-ORTEGA, J.M. (2021). “Sustainable energy transition: modeling and optimization”, *Current Opinion in Chemical Engineering*, **31**, 100661.
- MALLAPRAGADA, D.S., ET. AL. (2022). “Decarbonization of the chemical industry through electrification: Barriers and opportunities”, *Joule*, **(1)**23, 23 - 41.
- WESTMORELAND, P.R. Y MCCABE, C. (2018). “Revisiting the Future of Chemical Engineering”. *Chemical and Engineering Process*, 26 - 38.
- FERNÁNDEZ-NIÑO, M. Y BURGOS-TORO, D. (2022). Engineering microbial biofactories for a sustainable future, en C. López-Correa y Adriana Suárez-González (Ed.), *Genomics and the Global Bioeconomy* (pp. 25-58). Academic Press Inc. (London).
- SALAHDELDEEN ELNASHAIE, S., DANAFAR, F. Y RAFSANJANI, H.H. (2015). *Nanotechnology for Chemical Engineers*, Springer.
- MALIK, S., MUHAMMAD, K., & WAHEED, Y. (2023). “Nanotechnology: A Revolution in Modern Industry”, *Molecules*, **28**(2), 661.

ZHANG, W. Y CUE, B.W. (2012). *Green Chemistry: Designing Chemistry for the Environment*, American Chemical Society.