



DOI: <https://doi.org/10.46296/yc.v9i16.0630>

LA QUÍMICA DE LOS MATERIALES SOSTENIBLES PARA LA ECONOMÍA CIRCULAR

THE CHEMISTRY OF SUSTAINABLE MATERIALS FOR CIRCULAR ECONOMY

Guzmán-Borja María de los Ángeles ¹; Guapulema-Curi Jessica Jomaira ²;
Naranjo-Sagñay William Cristóbal ³; Vera-Pisco Dimas ⁴

¹ Ministerio de Educación Guaranda. Bolívar, Ecuador.

Correo: maria.guzman@educacion.gob.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-0377-8068>

² Universidad Internacional de Investigación. México.

Correo: jessica.guapulema@uiimex.edu.mx. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-0726-5808>

³ Ministerio de Educación, Unidad Educativa Pedro Carbo. Guayas, Ecuador.

Correo: cristobal.naranjo@educacion.gob.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-1318-7589>

⁴ Universidad Estatal del Sur de Manabí. Universidad de Especialidades Espíritu Santo.

Ecuador. Correo: dimas.vera@unesum.edu.ec.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3524-0907>

Resumen

La presente revisión narrativa examina el papel fundamental de la química en el desarrollo de materiales sostenibles y la promoción de la economía circular. A través de un análisis exhaustivo de la literatura científica reciente, se identifican los avances significativos en tres áreas principales: materiales de base biológica y polímeros sostenibles, materiales reciclados y valorización de residuos, y nanomateriales avanzados. El estudio destaca cómo las estrategias químicas innovadoras, incluyendo el diseño para la reciclabilidad, la catálisis sostenible y la evaluación del ciclo de vida, están transformando los procesos de producción y facilitando la transición hacia modelos más circulares. A pesar de los progresos, persisten desafíos técnicos y económicos que limitan la implementación generalizada de materiales sostenibles, como la dificultad de escalamiento industrial y los altos costos iniciales. No obstante, las innovaciones emergentes en nanotecnología, digitalización y colaboraciones intersectoriales ofrecen oportunidades prometedoras para superar estos obstáculos. La investigación subraya la necesidad de fortalecer la colaboración entre academia, industria y gobierno, incrementar la financiación para investigación y promover la educación especializada en sostenibilidad para avanzar hacia un futuro donde la química no solo mitigue impactos negativos, sino que genere soluciones regenerativas para una economía verdaderamente circular.

Palabras claves: Biopolímeros, Catálisis verde, Valorización, Nanomateriales sostenibles, Ciclo de vida.

Abstract

This narrative review examines the fundamental role of chemistry in the development of sustainable materials and the promotion of circular economy. Through a comprehensive analysis of recent scientific literature, significant advances are identified in three main areas: bio-based materials and sustainable polymers, recycled materials and waste valorization, and advanced nanomaterials. The study highlights how innovative chemical strategies, including design for recyclability, sustainable catalysis, and life cycle assessment, are transforming production processes and facilitating the transition towards more circular models. Despite progress, technical and economic challenges persist that limit the widespread implementation of sustainable materials, such as difficulties in industrial scaling and high initial costs. However, emerging innovations in nanotechnology, digitalization, and intersectoral collaborations offer promising opportunities to overcome these obstacles. The research emphasizes the need to strengthen

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 12 de enero de 2025.

Fecha de aceptación: 28 de marzo de 2025.

Fecha de publicación: 10 de abril de 2025.



collaboration between academia, industry, and government, increase funding for research, and promote specialized education in sustainability to move towards a future where chemistry not only mitigates negative impacts but also generates regenerative solutions for a truly circular economy.

Keywords: Biopolymers, Green catalysis, Valorization, Sustainable nanomaterials, Life cycle.

1. Introducción

1.1. Contexto global: Sostenibilidad y economía circular

La sostenibilidad se refiere a la capacidad de mantener procesos en el tiempo que no deterioren los recursos básicos, ofreciendo un futuro viable para las generaciones venideras. En este sentido, el cambio climático ha generado un consenso global sobre la necesidad de adoptar prácticas más sostenibles, tanto a nivel comunitario como industrial, para mitigar su impacto ambiental. Según la literatura, incorporar la sostenibilidad en diversas esferas de la vida, especialmente en la educación y el desarrollo industrial, es esencial para fomentar un cambio significativo hacia un futuro más verde (Álvarez Nieto et al., 2017; Chamorro Tapia, 2023). Esta noción es respaldada por iniciativas internacionales que buscan normalizar y promover la sostenibilidad, abarcando desde la

administración del campus universitario hasta la influencia en industrias vulnerables como el turismo (Alonso-Almeida & Celemín-Pedroche, 2016; Milanés Montero et al., 2012).

La economía circular se presenta como un modelo alternativo al lineal tradicional de "tomar, hacer y desechar". Este modelo favorece el reciclaje, la reutilización y la reducción de residuos, buscando una optimización en el uso de recursos. Proyectos y prácticas de economía circular están siendo introducidos de manera efectiva en el ámbito educativo, empoderando a las nuevas generaciones con el conocimiento de prácticas sostenibles e innovadoras (Martínez Ávila & Valdés Medina, 2024; Scarpellini et al., 2019). De acuerdo con la literatura revisada, la implementación de iniciativas de economía circular en instituciones educativas ha generado una respuesta positiva en términos de concienciación ambiental y prácticas



sostenibles (Robina-Ramírez & Moreno Luna, 2020). El enfoque en la educación, especialmente en etapas tempranas, es particularmente importante, ya que influye en la formación de actitudes proactivas hacia el medio ambiente entre los jóvenes (Bernal Párraga et al., 2024).

Adicionalmente, las políticas de sostenibilidad han comenzado a incorporarse de manera más formal en las estrategias de negocios, donde las organizaciones se ven cada vez más afectadas por la presión social y regulatoria para demostrar su compromiso con el medio ambiente. Las empresas buscan divulgar información sobre sus prácticas de sostenibilidad no solo para cumplir regulaciones, sino también para mejorar su imagen corporativa y fomentar la lealtad del consumidor hacia marcas que se perciben como responsables (González Masip & Cuesta Valiño, 2018; Portocarrero Sierra et al., 2023). Esta tendencia también se refleja en la investigación académica, donde se observa un aumento en el número de publicaciones dedicadas a estudiar el compromiso ambiental de diversas

industrias (Hoyos et al., 2022; Jiménez Crisóstomo, 2020).

En este contexto, la implementación de prácticas de economía circular se considera clave no solo para optimizar recursos, sino también para establecer modelos de negocio que sean verdaderamente sostenibles en el tiempo. El análisis de cadenas de suministro reciclables y la gestión de residuos están ganando importancia como temas críticos que requieren atención tanto de académicos como de profesionales en el campo de la sostenibilidad (Feitó Cespón et al., 2016). Por lo tanto, a medida que la sociedad avanza hacia un futuro donde la sostenibilidad y la economía circular son esenciales, se hace evidente que el éxito de estas iniciativas dependerá en gran medida de los enfoques adoptados tanto en la educación como en la acción empresarial.

El contexto global de la sostenibilidad y la economía circular es complejo y multifacético, caracterizado por la interacción entre la conciencia social, los compromisos empresariales y las políticas educativas. La convergencia de todos estos

factores es esencial para avanzar hacia un futuro en el que las generaciones actuales y futuras puedan coexistir en un entorno saludable y sostenible.

1.2. El papel de la química en la ciencia de los materiales sostenibles.

Esta sección examina cómo la química desempeña un rol fundamental en el desarrollo de materiales que no solo cumplen con requisitos técnicos, sino que también son respetuosos con el medio ambiente. A medida que la presión por adoptar prácticas sostenibles y responsables aumenta en múltiples sectores, la química se posiciona como una disciplina clave en la investigación de materiales que minimizan el impacto ambiental. La evidencia sugiere que el desarrollo de nuevos materiales sostenibles requiere de un enfoque integrado que combine la química con principios de sostenibilidad y economía circular (Carguacundo Ávila et al., 2024; Núñez et al., 2020).

En primer lugar, se identifica el papel vital que tienen los compuestos químicos en la creación de materiales biocompatibles y

biodegradables. Estos materiales, que son fundamentales en aplicaciones que varían desde empaques hasta dispositivos médicos, permiten reducir la acumulación de desechos plásticos y otros materiales nocivos en el medio ambiente (Hernández-Pajares, 2017). Las moléculas y polímeros derivados de fuentes biológicas, como bioplásticos y bio-compuestos, están siendo objeto de estudios intensivos. Por ejemplo, investigaciones recientes han demostrado que la modificación química de biomateriales puede conducir a mejoras en propiedades mecánicas y térmicas, permitiendo su uso en aplicaciones industriales (Núñez et al., 2020).

Además, la química desempeña un papel fundamental en el reciclaje y la valorización de residuos. Los procesos químicos aplicados en la conversión de residuos orgánicos en materiales reutilizables o en energía son ejemplos donde la química no solo aspira a disminuir desechos, sino también a mejorar la eficiencia de recursos. La investigación de catalizadores eficientes para procesos de reciclaje se ha vuelto esencial, promoviendo sistemas



donde los materiales son reutilizados y transformados en nuevos productos en lugar de ser desperdiciados (Arias-Valle et al., 2024; Gallén Ortiz & Peraita De Grado, 2016). De este modo, los químicos están cada vez más comprometidos en desarrollar métodos que no solo sean eficaces, sino que también sean sostenibles, utilizando energía renovable y minimizando subproductos nocivos.

La educación en química juega un papel crítico en la formación de profesionales capaces de desarrollar soluciones innovadoras para los desafíos ambientales contemporáneos. La integración de la sostenibilidad en los programas educativos de química es esencial. De hecho, se ha argumentado que la enseñanza de conceptos de sostenibilidad en química puede transformar la manera en que los estudiantes perciben y abordan los problemas medioambientales (Hernández-Pajares, 2020). Así, al preparar a las nuevas generaciones con habilidades en química y sostenibilidad, se promueve un enfoque proactivo hacia la innovación en materiales sostenibles.

Además, los avances en nanomateriales representan una convergencia de la química con tecnologías emergentes que permiten diseñar materiales con propiedades específicas y superiores. Por medio de la manipulación a escala nanométrica, es posible crear materiales que son más ligeros, más fuertes y más eficientes en términos de producción y utilización. Estos materiales pueden resultar decisivos, especialmente en sectores como la energía y la construcción, donde las demandas de sostenibilidad siguen creciendo.

Como lo explican los antecedentes mencionados en esta sección, la química no es solo una ciencia que trata sobre la estructura y composición de los materiales, sino que se erige como un catalizador para la innovación y la sustentabilidad en la ciencia de los materiales. Este papel refuerza la necesidad de un enfoque multidisciplinario, donde los químicos colaboren estrechamente con ingenieros, biólogos y responsables de políticas en la búsqueda de soluciones que apoyen desarrollos sostenibles y fomenten

una economía circular fuerte y estable.

Este artículo de revisión tiene como objetivo examinar el papel de la química en el avance de los materiales sostenibles y la promoción de la economía circular. Se enfoca en analizar las estrategias químicas innovadoras que contribuyen al diseño, la producción y el uso de materiales que minimizan el impacto ambiental y fomentan la sostenibilidad. Además, la revisión busca identificar los desafíos y oportunidades en este campo emergente, con el fin de proporcionar una visión integral que oriente futuras investigaciones y aplicaciones industriales.

2. Metodología

2.1. Criterios de selección de la literatura

La presente revisión narrativa (Carvajal Rivadeneira et al., 2023) se fundamenta en una selección rigurosa de literatura científica enfocada en la química de los materiales sostenibles y la economía circular. Se establecieron criterios específicos para garantizar la

relevancia, actualidad y calidad de las fuentes incluidas. Se priorizaron publicaciones arbitradas de los últimos diez años (2014-2024), con especial énfasis en los estudios más recientes que reflejan el estado actual del conocimiento. Las fuentes seleccionadas incluyen artículos originales de investigación, revisiones sistemáticas, capítulos de libros y documentos técnicos publicados en revistas de alto impacto en los campos de química, ciencia de materiales, sostenibilidad y economía circular.

Se consideraron trabajos en español e inglés, con preferencia por estudios que demostraran un enfoque multidisciplinario, abarcando tanto aspectos teóricos como aplicaciones prácticas. Además, se incluyeron fuentes que presentaran casos de estudio o experiencias relevantes en contextos educativos e industriales, proporcionando así una perspectiva amplia sobre la implementación de principios de sostenibilidad y economía circular en diversos sectores.



2.2. Metodología de búsqueda y análisis de la información

La búsqueda bibliográfica se realizó de manera sistemática (Sornoza-Parrales et al., 2025) utilizando bases de datos científicas como Scopus, Web of Science, SciELO, Redalyc y Google Scholar. Se emplearon combinaciones de palabras clave en español e inglés, incluyendo: "química sostenible", "materiales sostenibles", "economía circular", "bioplásticos", "nanomateriales sostenibles", "catálisis verde", "análisis de ciclo de vida", "valorización de residuos", entre otras. Esta búsqueda inicial generó más de 300 referencias potenciales.

La selección de las fuentes más relevantes se realizó mediante un proceso de filtrado en dos etapas. En la primera, se evaluaron los títulos y resúmenes para determinar la pertinencia con respecto a los objetivos de la revisión. En la segunda, se analizaron los textos completos de las publicaciones preseleccionadas, evaluando su calidad metodológica, relevancia temática y aportación al conocimiento en el área.

El análisis de la información se realizó mediante un enfoque cualitativo, identificando patrones, tendencias y conceptos clave en la literatura seleccionada. Se elaboraron matrices de síntesis para organizar y comparar los hallazgos según las categorías temáticas definidas en el esquema del artículo. Este proceso permitió identificar tanto los consensos como las controversias existentes en el campo, así como las brechas de conocimiento que requieren mayor investigación.

2.3. Delimitaciones y consideraciones clave

Esta revisión narrativa presenta algunas delimitaciones importantes que deben tenerse en cuenta al interpretar sus resultados. En primer lugar, aunque se ha procurado incluir una representación equilibrada de estudios internacionales, existe un énfasis en investigaciones realizadas en contextos hispanoamericanos, lo que refleja la realidad regional en la implementación de prácticas de química sostenible y economía circular.

En segundo lugar, dada la naturaleza interdisciplinaria del tema, se ha optado por un enfoque integrador que puede no profundizar exhaustivamente en aspectos técnicos muy específicos de determinados procesos químicos o materiales. En estos casos, se remite al lector a las fuentes originales para obtener detalles más completos. Finalmente, es importante señalar que, si bien se ha procurado mantener una perspectiva objetiva, la selección e interpretación de la literatura puede estar influenciada por el contexto y enfoque de los autores.

Para mitigar este posible sesgo, se ha contrastado información de múltiples fuentes y se han incorporado perspectivas diversas sobre los temas abordados.

Las consideraciones éticas también han sido un factor importante en esta revisión, priorizando investigaciones que demuestren un compromiso con la sostenibilidad no solo en sus resultados, sino también en sus métodos y procesos. Asimismo, se ha prestado especial atención a estudios que abordan las implicaciones sociales y educativas de la química sostenible,

reconociendo que la transición hacia una economía circular requiere no solo avances técnicos, sino también cambios en los valores y comportamientos sociales.

3. Resultados y discusión

3.1. Avances en el diseño de materiales sostenibles.

Las innovaciones y desarrollos recientes en la creación de materiales buscan lograr un equilibrio entre las necesidades funcionales y las exigencias de sostenibilidad. Este ámbito de la investigación se ha intensificado en respuesta a la creciente crisis ambiental, la cual demanda urgentemente alternativas que reduzcan el uso de recursos no renovables y el impacto ecológico de la producción industrial.

3.1.1 Materiales de base biológica y polímeros sostenibles

El diseño de materiales a partir de fuentes biológicas ha ganado prominencia en la última década, gracias a su potencial para ofrecer alternativas a los plásticos convencionales, que son derivados del petróleo. Los bioplásticos,



producidos a partir de materias primas renovables como almidón, celulosa y grasas, se están implementando en sectores que tradicionalmente han utilizado plásticos no biodegradables (Carguacundo Ávila et al., 2024). Estos materiales no solo ofrecen la ventaja de la biodegradabilidad, sino que también pueden diseñarse para ser funcionalmente equivalentes a sus homólogos sintéticos. Como resultado, investigadores han estado explorando la modificación química de biopolímeros para mejorar su desempeño mecánico y térmico (Arias-Valle et al., 2024), lo que los hace más competitivos en aplicaciones industriales.

Además de los bioplásticos, la química de los materiales ha conducido al desarrollo de compuestos que incluyen aditivos naturales que pueden mejorar aún más las propiedades de los materiales. Por ejemplo, se han incorporado fibras naturales en polímeros, lo que ha resultado en materiales híbridos que cuentan con una mejor resistencia y bajo peso (Hernández-Pajares, 2017). Este tipo de innovaciones en el diseño de materiales biocompatibles está

revolucionando no solo el sector del embalaje, sino también el de la construcción y la fabricación de productos de consumo, donde la demanda por sostenibilidad sigue creciendo.

3.1.2 Materiales reciclados y valorización de residuos

La valorización de residuos y el uso de materiales reciclados son estrategias comerciales cada vez más relevantes en el ámbito de los materiales sostenibles. Las tecnologías de reciclaje han avanzado significativamente, permitiendo a las industrias transformar desechos en nuevos productos. Ejemplos recientes incluyen el reciclaje químico de plásticos, que mediante procesos de pirólisis puede descomponer residuos plásticos en productos químicos que pueden ser reintroducidos en ciclos de producción (Gutiérrez-Rúa et al., 2019). Esta metodología no solo minimiza la cantidad de desechos, sino que también reduce la dependencia de materias primas vírgenes, creando un ciclo de vida más cerrado para los productos.

Los estudios han mostrado que la inclusión de materiales reciclados en nuevas formulaciones no solamente contribuye a la sostenibilidad, sino que también puede mejorar la eficiencia de costes en la producción. Sin embargo, se destaca que la calidad de los materiales reciclados puede variar, lo que plantea desafíos en términos de estandarización y aceptación comercial (Sanchez-Vargas, 2019). Por tal motivo, investigaciones en este campo abogan por el establecimiento de normas y protocolos que aseguren la calidad de los productos reciclados, permitiendo su incorporación en aplicaciones donde se requieren estándares técnicos elevados.

3.1.3 Nanomateriales y materiales avanzados sostenibles

Los nanomateriales han emergido como una categoría innovadora de materiales que ofrecen propiedades únicas debido a su escala nanométrica. La manipulación a este nivel permite alterar las propiedades físicas y químicas de los materiales, abriendo posibilidades en múltiples aplicaciones, desde aplicaciones médicas hasta la electrónica y la

energía (Orcasita-Cordoba et al., 2020). La investigación de nanomateriales basados en carbono, como los nanotubos y grafeno, ha demostrado un gran potencial en la creación de materiales más ligeros y fuertes, contribuyendo a la eficiencia energética y a la sostenibilidad (Medina et al., 2023).

Por otro lado, el uso de nanopartículas en el desarrollo de recubrimientos protectores y materiales compuestos ha permitido no solo mejorar la durabilidad de productos, sino también fomentar prácticas de mantenimiento más sostenibles, al reducir la frecuencia de reemplazo de materiales degradados (González Reverté, 2017). Sin embargo, a pesar de sus ventajas, también existen preocupaciones sobre los potenciales efectos ambientales y de salud de los nanomateriales, lo que lleva a la comunidad científica a la necesidad de realizar estudios más exhaustivos sobre los ciclos de vida completos de estos nuevos materiales (Hernández-Pajares, 2020).



3.2. Estrategias químicas para la economía circular

La economía circular (CE) representa un enfoque revolucionario que busca optimizar el uso de los recursos naturales y minimizar los desechos, integrando principios de sostenibilidad en los procesos industriales y comerciales. La química juega un papel fundamental en esta transición, particularmente a través del diseño de materiales orientados a la reciclabilidad y reutilización, catálisis en procesos químicos sostenibles, y la evaluación del ciclo de vida de productos y procesos. Este enfoque no solo aborda problemas ambientales, sino que también promueve una responsabilidad social y económica en la innovación de productos (Bello-Pintado et al., 2023; Chabowski et al., 2025).

3.2.1 Diseño de materiales para la reciclabilidad y la reutilización

El diseño para la reciclabilidad se centra en la creación de productos que puedan ser fácilmente descompuestos y reutilizados al final de su vida útil. Este proceso implica considerar desde el inicio no solo la

funcionalidad del producto, sino también qué tan eficiente será su recuperación y reciclaje (Giuffrida & Mangiaracina, 2020; Van Zanten & Van Tulder, 2018). Por ejemplo, se aboga por la incorporación de polímeros biodegradables y bio-compuestos que pueden minimizar el impacto ambiental mientras mantienen la utilidad práctica de los materiales (Marjamaa et al., 2021). La implementación de estrategias de diseño considera aspectos como la selección de materias primas renovables, la reusabilidad de componentes y la eliminación de sustancias tóxicas durante la producción, lo que fortalece la economía circular (Dissanayake et al., 2021; Köhler et al., 2019).

Además, el enfoque multidisciplinario es esencial en este contexto. Las investigaciones sugieren que la colaboración entre científicos de materiales, químicos y especialistas en sostenibilidad puede llevar a la creación de tecnologías que simplifican el proceso de reciclaje, mejorando la eficiencia y efectividad (Kuokkanen & Yazar, 2018). Este tipo de innovación no solo proporciona beneficios económicos, sino también

sociales, ya que se pueden crear empleos en sectores de reciclaje y reutilización, fomentando un desarrollo sostenible a nivel comunitario (Maragita et al., 2024).

3.2.2 Catálisis y procesos químicos sostenibles

La catálisis se posiciona como una estrategia clave para la sostenibilidad en diversos procesos químicos. La utilización de catalizadores en reacciones químicas puede aumentar la eficiencia, reduciendo la energía necesaria y la producción de desechos (Naidu & Ramani, 2024; Višković et al., 2022). Investigaciones recientes han demostrado que los procesos catalíticos no solo pueden ser más sostenibles, sino que también permiten la valorización de varios tipos de residuos, transformándolos en productos útiles, lo que a su vez impulsa el ciclo de vida de los materiales (Olosutean & Cerciú, 2022).

Por ejemplo, el uso de catalizadores basados en metales menos tóxicos y más eficientes puede minimizar el impacto ambiental de la producción química, contribuyendo así a la

economía circular (Lages et al., 2024). Estos avances en la catálisis están alineados con la búsqueda de un modelo de negocio más sostenible a nivel global, donde el enfoque en la reducción de recursos y energía se convierte en un imperativo para la competitividad de las empresas (Rahmat & Apriliani, 2023).

3.2.3 Evaluación del ciclo de vida y análisis de sostenibilidad

El análisis del ciclo de vida (ACV) es otra herramienta fundamental para garantizar que los productos y procesos químicos estén alineados con los principios de la economía circular. Esta metodología permite a las empresas evaluar el impacto ambiental de un producto durante su ciclo completo, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final (Pranugrahaning et al., 2023). De esta manera, se pueden identificar áreas de mejora en el proceso de diseño y producción, optimizando así el uso de recursos y reduciendo residuos (Pereira et al., 2020).

La integración de prácticas sostenibles en la evaluación del ciclo de vida también contribuye a la toma



de decisiones más informadas por parte de los gestores empresariales, permitiendo que los consumidores comprendan mejor el impacto de sus elecciones (Jayaweera et al., 2022). Así, los enfoques que combinan el ACV y estrategias de sostenibilidad no solo involucran a las empresas en prácticas responsables, sino que también permiten la creación de innovaciones que refuercen la sostenibilidad en la cadena de valor (Giuliodori et al., 2023; Matschoss et al., 2020).

Las estrategias químicas para implementar la economía circular constituyen un componente crítico hacia un desarrollo más sostenible. Al enfocarse en el diseño de materiales reciclables, catalización sostenible y evaluación del ciclo de vida, las industrias pueden no solo mejorar su productividad y competitividad, sino también contribuir significativamente a la protección del medio ambiente y la preservación de recursos para las futuras generaciones (Giuliodori et al., 2023). La química, en este contexto, no es únicamente una disciplina científica, sino una herramienta poderosa que puede catalizar el cambio en las prácticas

industriales y comerciales hacia un futuro más sostenible y circular.

3.3. Desafíos y oportunidades en la química de los materiales sostenibles

Dentro del contexto actual de la economía circular, la química de los materiales sostenibles enfrenta una serie de desafíos que pueden dificultar su avance, pero al mismo tiempo se presentan oportunidades significativas para la innovación y el desarrollo sostenible. Esta sección se centra en desglosar las barreras técnicas y económicas que obstaculizan el progreso en este campo, así como en resaltar las innovaciones emergentes y las perspectivas futuras que pueden catalizar el cambio necesario para lograr una mayor sostenibilidad (Hinojosa Pérez & Condori Cáceres, 2023; Valderrama-Hernández et al., 2019).

3.3.1 Barreras técnicas y económicas

Los desafíos técnicos en la química de materiales sostenibles son variados e incluyen la falta de tecnologías adecuadas para la producción y reciclado de materiales

sostenibles. A menudo, los procesos químicos establecidos están profundamente arraigados en prácticas que priorizan la eficiencia económica de corto plazo sobre la sostenibilidad a largo plazo (Reyes Rojas, 2018). Esto se traduce en una resistencia al cambio dentro de la industria, donde las inversiones requeridas para la adopción de tecnologías sostenibles son vistas como un riesgo alto a pesar de los beneficios potenciales (Litardo et al., 2023).

Además, el desarrollo de nuevos materiales sostenibles a menudo se enfrenta a la dificultad de escalabilidad; los procesos que funcionan a pequeña escala en entornos de laboratorio no siempre se pueden replicar a nivel industrial sin pérdidas de rendimiento o calidad. Esto implica un desafío significativo en la transferencia de tecnología desde las fases de investigación y desarrollo hacia la producción industrial, donde los costos y tiempos de comercialización son críticos (Martínez Henao, 2020).

Desde una perspectiva económica, la financiación para proyectos de investigación en sostenibilidad sigue siendo insuficiente en comparación

con las necesidades reales del sector. Esto es particularmente evidente en las economías en desarrollo, donde los requisitos de capital para implementar prácticas sostenibles pueden ser prohibitivos (Martínez Lirola, 2018). Además, el costo de los materiales alternativos a menudo supera al de los materiales convencionales, lo que limita su adopción a gran escala en diversas aplicaciones industriales (Lorente Echeverría et al., 2023). La falta de incentivos claros, como políticas que favorezcan la inversión en sostenibilidad, también contribuye a mantener este ciclo de subinversión en innovación (Cebrián Bernat et al., 2024).

3.3.2 Innovaciones emergentes y perspectivas futuras

A pesar de estos desafíos, existen numerosas innovaciones que presentan oportunidades emocionantes para la química de materiales sostenibles. En particular, el avance en los bioplásticos y otros materiales biodegradables ha mostrado un crecimiento significativo en los últimos años, impulsado por la creciente demanda de soluciones sostenibles en diversos sectores industriales (López et al., 2021).



Estos materiales no solo ofrecen una alternativa a los plásticos convencionales que son perjudiciales para el medio ambiente, sino que también están diseñados con ciclos de vida más sostenibles que permiten su biodegradación después de su uso (Serrate González et al., 2019).

La investigación en nanomateriales también está preparando el camino para nuevas aplicaciones en la sostenibilidad, incluyendo catalizadores más efectivos que pueden reducir las emisiones y mejorar la eficiencia de los procesos químicos (Arias-Valle et al., 2024). Por ejemplo, la utilización de nanocatalizadores puede disminuir la energía necesaria para las reacciones químicas, lo que a su vez minimiza el impacto ambiental asociado con la producción de materiales (Martí Selva et al., 2019). Este tipo de innovación no solo apunta a mejorar la eficiencia operativa, sino que también facilita la implementación de prácticas de economía circular mediante la optimización de procesos de reciclaje y reutilización (Muner & García, 2020).

Asimismo, la digitalización y la Industria 4.0 están cambiando el panorama de la producción a través de la implementación de tecnologías de monitoreo y optimización que permiten una gestión más eficiente de los recursos y una reducción de desechos (Quiñonez Alvarado & Estrada Carrera, 2021). La adopción de tecnología avanzada, como inteligencia artificial y análisis de datos, también permite predecir patrones de demanda y ajustar las operaciones para minimizar el desperdicio, promoviendo así una producción más sostenible (Madroñero-Palacios & Guzmán-Hernández, 2018).

La colaboración intersectorial entre académicos, industrias, y gobiernos está emergiendo como una estrategia vital para superar los obstáculos actuales. Las alianzas público-privadas pueden proporcionar la inversión necesaria para proyectos de investigación innovadores que aborden desafíos específicos en sostenibilidad, al tiempo que generan beneficios económicos y sociales más amplios (Cardoso Neto et al., 2024; Jimenez-Fontana & García-González, 2017). La participación activa de las

comunidades locales y otras partes interesadas en el desarrollo de nuevas soluciones también puede aumentar la aceptación y éxito de estas innovaciones en el mercado (Aguirregabiria Barturen & García Olalla, 2020).

Los desafíos presentes en la química de los materiales sostenibles son significativos, pero no insuperables. La superación de las barreras técnicas y económicas es vital para fomentar un desarrollo más equilibrado y sostenible, que se traduzca en políticas que impulsen la inversión en investigación y avances en la educación relacionada con la sostenibilidad. A medida que se avanza en la búsqueda de innovaciones y en la creación de un marco propicio para la colaboración y el desarrollo, las oportunidades que emergen prometen un futuro donde la química y la sostenibilidad se conviertan en pilares de una economía circular eficiente y responsable (Alarcón et al., 2024; Barbecho Benavides et al., 2022; Molina Neira, 2018).

4. Conclusiones

Esta revisión ha subrayado la posición fundamental de la química en el progreso de los materiales sostenibles y el impulso de la economía circular. El análisis de las estrategias químicas innovadoras revela su impacto en el diseño de materiales de base biológica, polímeros sostenibles, materiales reciclados y nanomateriales avanzados, todos ellos esenciales para la sostenibilidad. Asimismo, las estrategias químicas para la economía circular, que abarcan el diseño para la reciclabilidad, la catálisis sostenible y la evaluación del ciclo de vida, demuestran ser cruciales para la optimización de los recursos y la minimización de los residuos.

A pesar de los logros significativos, la química de los materiales sostenibles enfrenta desafíos técnicos y económicos que dificultan la adopción generalizada de prácticas sostenibles. Estos obstáculos exigen una atención continua y esfuerzos concertados para desarrollar soluciones innovadoras. No obstante, las innovaciones emergentes, como los bioplásticos, los nanomateriales y la



digitalización, presentan oportunidades prometedoras para superar estos desafíos e impulsar la transición hacia un modelo económico más circular y sostenible.

En este contexto, es imperativo fomentar la investigación y el desarrollo de nuevos materiales y procesos químicos que sean intrínsecamente sostenibles y eficientes en el uso de recursos. Se requiere una mayor colaboración entre los sectores académico, industrial y gubernamental para derribar las barreras existentes y promover la adopción de prácticas sostenibles a gran escala. Al mismo tiempo, es esencial promover la educación y la concienciación sobre la importancia de la sostenibilidad y la economía circular, tanto en la formación de profesionales como en la sensibilización de la sociedad en su conjunto.

La química de los materiales sostenibles se erige como un pilar fundamental en la construcción de un futuro más sostenible y circular. Si bien los retos son innegables, las oportunidades para la innovación y el desarrollo son vastas. A través de la investigación continua, la colaboración efectiva y un

compromiso firme con la sostenibilidad, será posible crear materiales y procesos químicos que satisfagan las necesidades de la sociedad actual sin comprometer el bienestar de las generaciones venideras.

Bibliografía

- Aguirregabiria Barturen, J., & García Olalla, A. M. (2020). Aprendizaje basado en proyectos y desarrollo sostenible en el Grado de Educación Primaria. Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas, 38(2), 5–24. <https://doi.org/10.5565/rev/en ciencias.2717>
- Alarcón, R. F. H., Valle, B. M., & Ros, J. N. (2024). Método de gestión de requisitos para promover la sostenibilidad en DevOps: CRETS4DevOps. Anais do XXVII Congresso Ibero-Americano em Engenharia de Software (CIBSE 2024), 340–347. <https://doi.org/10.5753/cibse.2024.28459>
- Alonso-Almeida, M. D. M., & Celemín-Pedroche, M. S. (2016). Competitiveness and sustainability of tourist destinations. ESIC Market Economics and Business

- Journal, 47(2), 275–289.
<https://doi.org/10.7200/esicm.154.0472.3>
- Álvarez Nieto, C., López-Medina, I. M., Linares-Abad, M., Grande-Gascón, M. L., & Álvarez-García, C. (2017). Currículum enfermero y estrategias pedagógicas en materia de sostenibilidad medioambiental en los procesos de salud y cuidado. *Enfermería Global*, 16(3), 651.
<https://doi.org/10.6018/eglobal.16.3.243151>
- Arias-Valle, M. B., Marimón, F., Coria-Augusto, C. J., & Apaza-Canquín, A. E. (2024). Perspectivas sobre la Sostenibilidad en la Educación Superior: Un análisis comparativo entre Argentina, España y Perú. *Revista de Investigación en Educación*, 22(3), 604–620.
<https://doi.org/10.35869/reinied.v22i3.5768>
- Barbecho Benavides, J. J., Angumba Aguilar, P. J., Francisco Cazorla, J., & Quesada Molina, J. F. (2022). Indicadores de sostenibilidad urbana para la ciudad de Cuenca: Desechos residenciales sólidos y de construcción. *ConcienciaDigital*, 5(1.2), 27–45.
<https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i1.2.2084>
- Bello-Pintado, A., Machuca, J. A. D., & Danese, P. (2023). Stakeholder pressures and sustainability practices in manufacturing: Consideration of the economic development context. *Business Strategy and the Environment*, 32(7), 4084–4102.
<https://doi.org/10.1002/bse.3355>
- Bernal Párraga, A. P., Jaramillo Rodríguez, V. A., Correa Pardo, Y. C., Andrade Aviles, W. A., Cruz Gaibor, W. A., & Constante Olmedo, D. F. (2024). Metodologías Activas Innovadoras de Aprendizaje aplicadas al Medioambiente En Edades Tempranas desde el Área de Ciencias Naturales. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 2892–2916.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.12536
- Cardoso Neto, N., Reis, C., & Weise, L. S. (2024). Comunicación sistémica entre sostenibilidad y derecho. *DRd - Desenvolvimento Regional em debate*, 14, 59–70.
<https://doi.org/10.24302/drd.v14.4823>
- Carguacundo Ávila, F. L., Chapal Cacuango, M. E., Suin Guaraca, A. M., Magyori Alvarez, M., & Libicota González, L. J. (2024). Análisis Crítico del Calentamiento Global y la



- Educación Ambiental en el Currículo Secundario. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 8(5), 2442–2452.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.13710
- Carvajal Rivadeneira, D. D., Ponce Reyes, F. S., Sornoza-Parrales, D., Pincay Pilay, M., Antonio, Q. S., & Miller Zavala, J. H. (2023). Elementos básicos de la investigación científica: ISBN: 978-9942-846-51-8.
EDITORIAL INTERNACIONAL RUNAIKI, 1–75.
- Cebrián Bernat, G., Moraleda, Á., Olano, J. X., Boqué, A., & Prieto, J. (2024). Las competencias en sostenibilidad del alumnado de educación secundaria según el género. Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas, 42(1), 65–83.
<https://doi.org/10.5565/rev/en ciencias.5948>
- Chabowski, B. R., Gabrielsson, P., Hult, G. T. M., & Morgeson, F. V. (2025). Sustainable international business model innovations for a globalizing circular economy: A review and synthesis, integrative framework, and opportunities for future research. Journal of International Business Studies, 56(3), 383–402.
<https://doi.org/10.1057/s41267-023-00652-9>
- Chamorro Tapia, C. A. (2023). Sostenibilidad y gestión educativa: Implementación de prácticas eco-amigables en la administración de campus universitarios. Revista Política y Ciencias Administrativas, 2(2), 63–73.
<https://doi.org/10.62465/rpca.v2n2.2023.64>
- Dissanayake, D., Tilt, C. A., & Qian, W. (2021). How do public companies respond to national challenges through sustainability reporting? – The case of Sri Lanka. Qualitative Research in Accounting & Management, 18(4/5), 455–483.
<https://doi.org/10.1108/QRAM-06-2020-0088>
- Feitó Cespón, M., Cespón Castro, R., & Rubio Rodríguez, M. A. (2016). Modelos de optimización para el diseño sostenible de cadenas de suministros de reciclaje de múltiples productos. Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería, 24(1), 135–148.
<https://doi.org/10.4067/S0718-33052016000100013>
- Gallén Ortiz, M., & Peraíta De Grado, C. (2016). Información de responsabilidad social corporativa y teoría institucional. Intangible Capital, 12(4), 942.
<https://doi.org/10.3926/ic.732>



- Giuffrida, M., & Mangiaracina, R. (2020). Green Practices for Global Supply Chains in Diverse Industrial, Geographical, and Technological Settings: A Literature Review and Research Agenda. *Sustainability*, 12(23), 10151. <https://doi.org/10.3390/su122310151>
- Giuliodori, A., Berrone, P., & Ricart, J. E. (2023). Where smart meets sustainability: The role of Smart Governance in achieving the Sustainable Development Goals in cities. *BRQ Business Research Quarterly*, 26(1), 27–44. <https://doi.org/10.1177/23409444221091281>
- González Masip, J., & Cuesta Valiño, P. (2018). De responsabilidad social a sostenibilidad corporativa: Una revisión actualizada. *aDResearch ESIC International Journal of Communication Research*, 17(17), 46–71. <https://doi.org/10.7263/adresic-017-04>
- González Reverté, F. (2017). La investigación en el ámbito del turismo sostenible. *Oikonomics*, 7, 35–44. <https://doi.org/10.7238/o.n7.1706>
- Gutiérrez-Rúa, J., Posada-García, M. D., & González-Pérez, M. A. (2019). Prácticas de recursos humanos que impactan la estrategia de sostenibilidad ambiental. *Innovar*, 29(73), 11–24. <https://doi.org/10.15446/innovar.v29n73.78008>
- Hernández-Pajares, J. (2017). Determinantes de información de sostenibilidad de empresas peruanas. *CAPIC REVIEW*, 15, 9–18. <https://doi.org/10.35928/cr.vol15.2017.5>
- Hernández-Pajares, J. (2020). Relación entre el desempeño financiero y el desempeño de sostenibilidad: Evidencias de reportes del GRI en Perú. *CAPIC REVIEW*, 16, 1–14. <https://doi.org/10.35928/cr.vol16.2018.77>
- Hinojosa Pérez, A. H., & Condori Cáceres, Y. (2023). Negocios y sostenibilidad con enfoque social y medioambiental. *HUMAN REVIEW. International Humanities Review / Revista Internacional de Humanidades*, 19(3), 1–9. <https://doi.org/10.37467/revhuman.v19.4921>
- Hoyos, O., Duque, P., García, D., & Giraldo, S. (2022). Producción científica sobre economía verde y sostenibilidad: Una revisión de la investigación mundial. *Revista Facultad de Ciencias Económicas*, 30(2), 77–99. <https://doi.org/10.18359/rfce.5846>



- Jayaweera, R., Nop, S., Karagianni, C., Waibel, M., & Schwede, D. (2022). Sustainable building arenas: Constructing a governance framework for a sustainability transition in Cambodia's urban built environment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1078(1), 012084. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1078/1/012084>
- Jiménez Crisóstomo, A. (2020). Análisis de la sostenibilidad energética del transporte aéreo y su impacto en el turismo. *Investigaciones Turísticas*, 20, 31. <https://doi.org/10.14198/INTU RI2020.20.02>
- Jimenez-Fontana, R., & García-González, E. (2017). Visibilidad de la Educación Ambiental y la Educación para la Sostenibilidad en las publicaciones españolas sobre educación científica. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 14(1), 271–285. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i1.20
- Köhler, J., Geels, F. W., Kern, F., Markard, J., Onsongo, E., Wieczorek, A., Alkemade, F., Avelino, F., Bergek, A., Boons, F., Fünfschilling, L., Hess, D., Holtz, G., Hyysalo, S., Jenkins, K., Kivimaa, P., Martiskainen, M., McMeekin, A., Mühlemeier, M. S., ... Wells, P. (2019). An agenda for sustainability transitions research: State of the art and future directions. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 31, 1–32. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2019.01.004>
- Kuokkanen, A., & Yazar, M. (2018). Cities in Sustainability Transitions: Comparing Helsinki and Istanbul. *Sustainability*, 10(5), 1421. <https://doi.org/10.3390/su10051421>
- Lages, L. F., Silva, G. M., Canhoto, A. I., Martinez, L. F., & Jahanmir, S. (2024). Balancing people, planet and profit: Export strategies for sustainable value creation. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, 15(4), 961–986. <https://doi.org/10.1108/SAMP-J-09-2023-0687>
- Litardo, J. T., Ruiz, S. M., Martínez, L. S., & Wong, C. R. (2023). La relación sobre la importancia de incorporar la sostenibilidad y la responsabilidad social en el desarrollo de competencias docentes. *South Florida Journal of Development*, 4(10), 3815–3826. <https://doi.org/10.46932/sfjdv4n10-006>

- López, M., Villagra, A., & Pandolfi, D. (2021). Heurística y metaheurísticas en la recolección de residuos tecnológicos. *Informes Científicos Técnicos-UNPA*, 13(3), 56–72.
- Lorente Echeverría, S., Canales Lacruz, I., & Murillo-Pardo, B. (2023). Dar un paso: Un programa multidisciplinar para desarrollar competencias en sostenibilidad en futuros maestros/as de la Universidad de Zaragoza. *Revista de educación ambiental y sostenibilidad*, 5(2).
https://doi.org/10.25267/Rev_educ_ambient_sostenibilidad.2022.v5.i2.2301
- Madroñero-Palacios, S., & Guzmán-Hernández, T. (2018). Desarrollo sostenible. Aplicabilidad y sus tendencias. *Revista Tecnología en Marcha*, 31(3).
<https://doi.org/10.18845/tm.v31i3.3907>
- Maragita, M., Rahayu, A., & Indrawan, A. (2024). The Role of The Technopreneur In Overcoming Global Sustainability Challenges: A Mental Accounting Perspective. *American Journal of Economics and Business Management*, 7(8), 318–325.
<https://doi.org/10.31150/ajebm.v7i8.2881>
- Marjamaa, M., Salminen, H., Kujala, J., Tapaninaho, R., & Heikkinen, A. (2021). A Sustainable Circular Economy: Exploring Stakeholder Interests in Finland. *South Asian Journal of Business and Management Cases*, 10(1), 50–62.
<https://doi.org/10.1177/2277977921991914>
- Martí Selva, M. L., Puertas, R., & Calafat, C. (2019). La sostenibilidad en las universidades públicas valencianas: Una comparativa cronológica y con otros campus españoles. *Proceedings INNODOCT/19. International Conference on Innovation, Documentation and Education*, 1–8.
<https://doi.org/10.4995/INN2019.2019.10057>
- Martínez Ávila, M., & Valdés Medina, F. E. (2024). La sostenibilidad medioambiental en el ámbito de las instituciones educativas: Una revisión de modelos teóricos y empíricos. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 14(28).
<https://doi.org/10.23913/ride.v14i28.1754>
- Martínez Henao, J. A. (2020). Energía renovable y competitividad en la empresa Walmart México. *Dictamen*



- Libre, 26, 169–179.
<https://doi.org/10.18041/2619-4244/dl.26.6194>
- Martínez Lirola, M. (2018). La Enseñanza de la Justicia Ambiental en el Marco de la Educación para el Desarrollo Sostenible en la Universidad. *Revista Internacional de Educación para la Justicia Social (RIEJS)*, 7(1), 53–68.
<https://doi.org/10.15366/riejs2018.7.1.003>
- Matschoss, K., Pietilä, M., Rask, M., & Suni, T. (2020). Co-creating transdisciplinary global change research agendas in Finland. *European Journal of Futures Research*, 8(1), 2.
<https://doi.org/10.1186/s40309-020-0162-3>
- Medina, M., Rojas, R., Bustamante, W., Loaiza, R., Martel, C., & Castillo, R. (2023). Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación (1a ed.). Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú.
<https://doi.org/10.35622/inudi.b.080>
- Milanés Montero, P., Pérez Calderón, E., & Ortega Rossell, F. J. (2012). Factores determinantes del nivel de compromiso medioambiental voluntario adquirido por los hoteles cotizados europeos. *Contaduría y Administración*, 57(4).
<https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2012.169>
- Molina Neira, B. A. (2018). La incorporación de la cultura y el patrimonio en el desarrollo sostenible: Desafíos y posibilidades. *Revista humanidades*.
<https://doi.org/10.15517/h.v8i1.31465>
- Muner, M. L. O. D., & Garcia, A. R. (2020). Percepción Global de los Gestores Académicos, Alumnos y Profesores Sobre la Sostenibilidad y sus Relaciones con la Salud en el Curso de Medicina en el Sudeste de Brasil. *Revista Brasileira de Educação Médica*, 44(4), e175.
<https://doi.org/10.1590/1981-5271v44.4-20190279.esp>
- Naidu, T., & Ramani, S. (2024). Transforming global health professions education for sustainability. *Medical Education*, 58(1), 129–135.
<https://doi.org/10.1111/medu.15149>
- Núñez, J. C. G., Reyes, V. M., Brunett, G. A. H., Navarrete, C. A. D., Lujan, V. W. R., & Morales, A. G. S. (2020). Análisis de la sostenibilidad de una empresa de caña de azúcar en Ecuador. *Research, Society and Development*, 9(11), e76091110538.
<https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.10538>



- Olosutean, H., & Cerciú, M. (2022). Water Sustainability in the Context of Global Warming: A Bibliometric Analysis. *Sustainability*, 14(14), 8349. <https://doi.org/10.3390/su14148349>
- Orcasita-Cordoba, S. L., Lizcano-Prada, J., & Lombana-Coy, J. (2020). Estándares de sostenibilidad en los agronegocios: Una revisión de las líneas de estudio en la literatura académica. *Clío América*, 14(28), 517–530. <https://doi.org/10.21676/23897848.4043>
- Pereira, L., Frantzeskaki, N., Hebinck, A., Charli-Joseph, L., Drimie, S., Dyer, M., Eakin, H., Galafassi, D., Karpouzoglou, T., Marshall, F., Moore, M.-L., Olsson, P., Siqueiros-García, J. M., Van Zwanenberg, P., & Vervoort, J. M. (2020). Transformative spaces in the making: Key lessons from nine cases in the Global South. *Sustainability Science*, 15(1), 161–178. <https://doi.org/10.1007/s11625-019-00749-x>
- Portocarrero Sierra, L., Vanegas López, J. G., Restrepo Morales, J. A., & Aguilar Barreto, A. J. (2023). Escala de medición para la evaluación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en proyectos de inversión pública. El caso del Proyecto Morro de Moravia en Medellín, Colombia. *Cuadernos de Administración*, 36. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cao36.emeod>
- Pranugrahaning, A., Donovan, J. D., Topple, C., & Masli, E. K. (2023). Exploring Corporate Sustainability in the Insurance Sector: A Case Study of a Multinational Enterprise Engaging with UN SDGs in Malaysia. *Sustainability*, 15(11), 8609. <https://doi.org/10.3390/su15118609>
- Quiñonez Alvarado, E. S., & Estrada Carrera, F. M. L. (2021). ¿Se está produciendo una educación basada en el desarrollo sostenible en Latinoamérica? *E-IDEA 4.0 Revista Multidisciplinar*, 3(8). <https://doi.org/10.53734/mj.vo13.id183>
- Rahmat, T., & Apriliani, D. (2023). Model of Global HR Development and Green Economy Diplomacy: Strengthening Global Environmental Governance in Indonesia. *Journal of Law and Sustainable Development*, 11(11), e404. <https://doi.org/10.55908/sdgs.v11i11.404>
- Reyes Rojas, G. E. (2018). El fenómeno del consumismo y sus desafíos para la mejora del medio ambiente.



- Documentos de trabajo
 Areandina, 1.
<https://doi.org/10.33132/26654644.1265>
- Robina-Ramírez, R., & Moreno Luna, L. (2020). Gestión de políticas de sostenibilidad en organizaciones académicas: El caso de la Universidad de Extremadura. *Revista Internacional de Organizaciones*, 24, 63–90. <https://doi.org/10.17345/rio24.63-90>
- Sanchez-Vargas, D. Y. (2019). Infraestructuras de Confianza y Sostenibilidad Una mirada a las relaciones entre sostenibilidad y estandarización en la política internacional de producción cafetera. *Jangwa Pana*, 18(2), 214–231. <https://doi.org/10.21676/16574923.3007>
- Scarpellini, S., Portillo-Tarragona, P., Marco-Fondevila, M., Marín-Vinuesa, L. M., Valero-Gil, J., Llera-Sastresa, E. M., Zabalza-Bribián, I., Llena-Macarulla, F., & Aranda-Usón, J. A. (2019). Píldoras de economía circular en el aula para la enseñanza aplicada en sostenibilidad medioambiental. *Aprendizaje, Innovación y Cooperación como impulsores del cambio metodológico*, 268–272. <https://doi.org/10.26754/CINAIC.2019.0060>
- Serrate González, S., Martín Lucas, J., Caballero Franco, D., & Muñoz Rodríguez, J. M. (2019). Responsabilidad universitaria en la implementación de los objetivos de desarrollo sostenible. *European Journal of Child Development, Education and Psychopathology*, 7(2), 183. <https://doi.org/10.30552/ejpad.v7i2.119>
- Sornoza-Parrales, D., Vera Pisco, D., Pincay Pilay, M. M., & Parrales Poveda, M. L. (2025). Bibliometric Analysis of IoT-Based Technologies for Health Monitoring: Trends, Impact, and Key Findings (2014-2024). *Salud, Ciencia y Tecnología*, 5, 1060. <https://doi.org/10.56294/saludcyt20251060>
- Valderrama-Hernández, R., Alcántara Rubio, L., Sánchez Carracedo, F., Caballero Franco, D., Serrate González, S., Gil-Doménech, D., Vidal-Raméntol, S., & Miñano, R. (2019). ¿Forma en sostenibilidad el sistema universitario español? Visión del alumnado de cuatro universidades. *Educación XX1*, 23(1). <https://doi.org/10.5944/educxx1.23420>
- Van Zanten, J. A., & Van Tulder, R. (2018). Multinational enterprises and the



Sustainable Development
Goals: An institutional
approach to corporate
engagement. *Journal of
International Business Policy*,
1(3–4), 208–233.
[https://doi.org/10.1057/s4221
4-018-0008-x](https://doi.org/10.1057/s42214-018-0008-x)

Višković, A., Franki, V., & Bašić-
Šiško, A. (2022). City-Level
Transition to Low-Carbon
Economy. *Energies*, 15(5),
1737.
[https://doi.org/10.3390/en150
51737](https://doi.org/10.3390/en15051737)