

Methodologies and tools of the circular economy applied in the industrial sector: a systematic literature review

Rigoberto Ccopa Concha, Bach¹, Diego Armando Quispe Vilca, Bach², Italo Treviño-Zevallos, Dr.³

^{1,2,3}Universidad Tecnológica del Perú (UTP), Av. Tacna y Arica 160, Arequipa, Perú

U17305303@utp.edu.pe, U18217725@utp.edu.pe, itrevino@utp.edu.pe

Abstract– *The circular economy is a key approach to industrial sustainability, promoting the reduction of natural resource consumption, waste minimization, and recycling. Its implementation transforms traditional production and consumption models into more efficient and responsible systems. This study analyzes methodologies and tools for applying the circular economy, with a particular focus on its integration into the early stages of product development. Research in this field has grown exponentially, with a significant increase in publications in 2023 and 2024, particularly in thematic areas such as environmental engineering, sustainability, and industrial management, as reported by the Scopus database. Brazil and Italy stand out as the main contributors, reflecting global interest in adopting circular strategies across various industrial sectors. The findings highlight that the circular economy optimizes material use, promotes sustainable consumption models, and reduces large-scale resource extraction. Its application not only decreases waste but also enables the design of longer-lasting products, mitigating environmental issues such as climate change and biodiversity loss. One of the most environmentally impactful sectors is the textile industry, driven by fast fashion, which is characterized by high consumption of water, land, and chemicals. The circular economy emerges as an alternative to mitigate these effects through sustainable strategies in design, manufacturing, and recycling, fostering a more responsible production system.*

Keywords: *Circular economy, sustainable industry, circular economy methods, environmental sustainability, resource optimization.*

Metodologías y herramientas de la economía circular aplicadas en el sector industrial: una revisión sistemática de literatura

Rigoberto Ccopa Concha, Bach¹, Diego Armando Quispe Vilca, Bach.², Italo Treviño-Zevallos, Dr.³

^{1,2,3}Universidad Tecnológica del Perú (UTP), Av. Tacna y Arica 160, Arequipa, Perú
U17305303@utp.edu.pe, U18217725@utp.edu.pe, itrevino@utp.edu.pe

Resumen– La economía circular es un enfoque clave para la sostenibilidad industrial, promoviendo la reducción del consumo de recursos naturales, la minimización de residuos y el reciclaje. Su implementación transforma los modelos de producción y consumo tradicionales hacia sistemas más eficientes y responsables. Este estudio analiza metodologías y herramientas para aplicar la economía circular, con especial énfasis en su integración en las primeras fases del desarrollo de productos. La investigación en este ámbito ha crecido exponencialmente, con un aumento significativo de publicaciones en 2023 y 2024, particularmente en áreas temáticas como ingeniería ambiental, sostenibilidad y gestión industrial, según lo reportado por la base de datos Scopus. Brasil e Italia destacan como los principales contribuyentes, reflejando el interés global en la adopción de estrategias circulares en distintos sectores industriales. Los hallazgos evidencian que la economía circular optimiza el uso de materiales, promueve modelos de consumo sostenibles y reduce la extracción masiva de recursos. Su aplicación no solo disminuye desechos, sino que también permite diseñar productos con mayor vida útil, mitigando problemas ambientales como el cambio climático y la pérdida de biodiversidad. Uno de los sectores con mayor impacto ambiental es la industria textil, impulsada por el "fast fashion", caracterizado por un alto consumo de agua, tierras y productos químicos. La economía circular surge como alternativa para mitigar estos efectos mediante estrategias sostenibles en diseño, manufactura y reciclaje, favoreciendo una producción más responsable.

Palabras clave: Economía circular, industria sostenible, métodos de economía circular, sostenibilidad ambiental, optimización de recursos.

I. INTRODUCCIÓN

La economía circular es un sistema económico, diseñado para reducir al mínimo los residuos y optimizar el uso de los recursos [1]. Es importante destacar que la circularidad no solo se aplica a los ciclos de materiales, sino también a la inversión en el desarrollo y expansión de fuentes de energía renovables de amplio alcance [2]. El modelo tradicional, basado en la filosofía de “Tomar, Fabricar y Desechar”, ha enfrentado recientemente amenazas importantes, como el cambio climático y la deforestación masiva [3]. Además de extender la vida útil de los productos, la economía circular interviene desde las etapas iniciales del proceso productivo, las propuestas actuales han evolucionado hasta las 7Rs, a los cuales se suman “Rediseñar, Reparar y Renovar”, dando una segunda oportunidad a los productos estropeados, para luego reintroducir en el proceso productivo [4]. La idea clave es que los recursos recirculen de manera constante en toda la cadena de valor, minimizando la necesidad de nuevos recursos y por

ende el impacto ambiental, esto se aplica tanto a los ciclos biológicos, como también a los tecnológicos, abarcando desde la extracción de materias primas hasta la recuperación de materiales a partir de los residuos [5]. Al integrar diversas actividades la economía circular también se entiende como un modelo que indica a las empresas cómo llevar a cabo e implementar el desarrollo sostenible [6].

En este contexto, desde hace varios años, las organizaciones internacionales han reconocido la necesidad de transformar el sistema de producción lineal en uno más sostenible y circular. Por naturaleza la economía circular, busca implementar mejoras en todas las etapas del ciclo de vida de los productos y servicios. Empezando desde la extracción de materias primas hasta el tratamiento de estos, una vez convertidos en residuos, unificando los aspectos socioambientales y económicos [7]. En las últimas décadas, los responsables de políticas, las empresas y los participantes de la sociedad civil, han enfrentado un creciente desafío para alcanzar la sostenibilidad y la conservación del planeta. En la búsqueda de respuestas, se admite que las estrategias y enfoques de la economía circular, cooperen con los vínculos de circularidad para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible planteados en la agenda 2030, de la Organización de las Naciones Unidas. Las industrias que deseen implementar una economía circular efectiva deben asumir su responsabilidad dentro del entorno en el que operan [8]. Optimizar el valor de cada producto, servicio o materia, asumir la innovación como un riesgo indispensable, considerar el capital natural como un activo generador de servicios sociales que se deben proteger [9].

La creciente presión sobre los recursos naturales y el impacto ambiental de los modelos de producción tradicionales han puesto en evidencia la urgencia de adoptar enfoques sostenibles en la industria. Según las Naciones Unidas (ONU), si se mantiene el ritmo actual de consumo, para el año 2050 la demanda mundial de recursos será equivalente a la capacidad de tres planetas. Además, la descarbonización de la economía se ha convertido en una prioridad global, dado que la industria es uno de los sectores con mayores emisiones de CO₂ [10]. En este contexto, la economía circular surge como una estrategia clave para optimizar el uso de los recursos, reducir residuos y minimizar la dependencia de materias primas vírgenes. Ante la creciente producción científica en este campo, es fundamental realizar una Revisión Sistemática de Literatura (RSL) que permita sintetizar el conocimiento existente, identificar las

metodologías más efectivas y evaluar su aplicabilidad en distintos sectores industriales. Esta revisión tiene como objetivo principal analizar los métodos y herramientas utilizadas para la implementación de la economía circular, promoviendo la reutilización, el reciclaje y la valorización de los recursos. Asimismo, busca comparar las aplicaciones de estas prácticas circulares con el fin de maximizar el aprovechamiento de los recursos y minimizar los impactos ambientales negativos, contribuyendo así a la sostenibilidad industrial. La estructura de la revisión se organizará en secciones que abordarán diversos enfoques metodológicos, tales como el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) y la Simbiosis Industrial, entre otros. Con ello, se pretende proporcionar una visión integral que facilite la toma de decisiones en la transición hacia un modelo industrial más eficiente y sostenible.

II. METODOLOGÍA

Para desarrollar esta revisión sistemática, se empleó la estrategia PICO (acrónimo en inglés) [11]. En primer lugar, se formuló la pregunta de revisión: ¿Cuáles son los métodos y aplicaciones de la Economía Circular para optimizar el uso de recursos en el sector industrial? que permitió la identificación de los componentes clave de la estrategia obteniéndose preguntas más específicas relacionadas con cada uno de sus componentes (Tabla I).

Tabla I:
Matriz PICO

Pregunta de revisión:	
¿Cuáles son los métodos y aplicaciones de la Economía Circular para optimizar el uso de recursos en el sector industrial?	
Componentes	Preguntas
P	¿Cómo se define y caracteriza la implementación de la economía circular?
C	¿Cuáles son las diferencias entre los distintos métodos y aplicaciones de la economía circular con relación a la reducción de residuos y optimización de recursos?
O	¿De qué manera los enfoques y prácticas de la economía circular favorecen la sostenibilidad ambiental, el uso eficiente de los recursos y la disminución de desechos?

Al tener identificados los componentes, se procedió a elaborar un listado de palabras clave para responder a la pregunta PICO. Esto resultó en la siguiente ecuación de búsqueda: ("Circular economy" OR "Circular Industry" OR "Sustainable economy" OR "Sustainable Industry") AND ("Circular economy practices" OR "Circular economy methods" OR "Sustainable practices" OR "Waste reduction methods") AND ("sustainability" OR "efficiency" OR "waste reduction" OR "resource optimization"). Dicha ecuación fue aplicada en la base de datos SCOPUS generando un total de 650 documentos.

Estos documentos fueron sometidos a un proceso de selección mediante la declaración PRISMA [12]. Al

desarrollar esta lógica de selección nos garantiza que nuestra revisión sistemática se desarrolle de manera clara y estructurada, permitiendo la selección objetiva de estudios relevantes y reduciendo posibles sesgos en el proceso. En tal sentido se cumplieron una serie de pasos en base a la siguiente estructura: identificación, cribado y finalmente la obtención de los artículos seleccionados que fueron la base de la RSL tal como se muestra en la fig. 1. Para garantizar que los documentos fueran adecuados para la RSL, también se definieron criterios de inclusión (CI). Los cuales fueron los siguientes:

- CI1: Artículos que discutan métodos específicos de la Economía Circular aplicados en el sector industrial.
- CI2: Estudios que evalúen el impacto de estas aplicaciones en la optimización de recursos.
- CI3: Estudios que se centren en industrias específicas (textil, alimentaria, construcción, etc.) que sean relevantes para la Economía Circular.

Posteriormente, se verificó la disponibilidad de los textos completos, excluyendo 58 artículos por falta de acceso, quedando 320 documentos en la siguiente fase de análisis. Finalmente, se llevó a cabo una revisión de resumen, aplicando criterios de exclusión que descartaron estudios que no se centren en industrias específicas (textil, alimentaria, construcción, entre otras), artículos que no aborden métodos concretos de Economía Circular aplicados en el sector industrial, y aquellos que no midan el impacto de estas estrategias en la optimización de recursos.

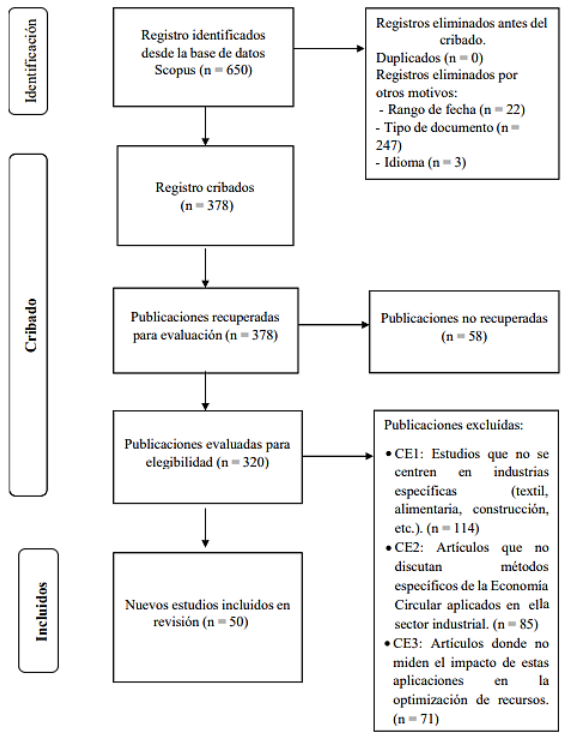


Fig. 1. Diagrama de flujo PRISMA

En este estudio, no se identificaron artículos duplicados, ya que la búsqueda se realizó exclusivamente en la base de datos Scopus. Sin embargo, se aplicaron filtros para refinar los resultados, considerando el rango de fechas (2019-2024), el tipo de documento (artículos científicos) y el idioma (inglés), lo que redujo la selección inicial a 378 artículos. Como resultado, la selección final quedó conformada por 50 artículos, que constituyen la base documental de esta Revisión Sistemática de Literatura (RSL). Finalmente, se realizó una caracterización temática de los documentos seleccionados en base a su clasificación en Scopus. Esto permitió identificar las áreas más frecuentes en las que se ubican los estudios sobre economía circular. De igual modo, se realizó un análisis de frecuencia de aparición de las revistas científicas más relevantes dentro de la muestra de artículos seleccionados.

III. RESULTADOS

Tras el análisis de los 50 artículos seleccionados, se identificó que los estudios revisados se centran en los métodos y aplicaciones de la economía circular en diversos sectores industriales. En primer lugar, se presentan los resultados bibliométricos, destacando la distribución de publicaciones por año. El 2024 registró la mayor cantidad de artículos, con un total de 20 publicaciones, seguido del 2023, con 15 artículos. Posteriormente, los años 2022 y 2021 reportaron 6 y 7 publicaciones, respectivamente (ver Fig. 2). Estos datos reflejan una tendencia creciente en la producción académica sobre herramientas y aplicaciones de la economía circular en los últimos seis años, evidenciando un interés en aumento dentro de la comunidad científica.

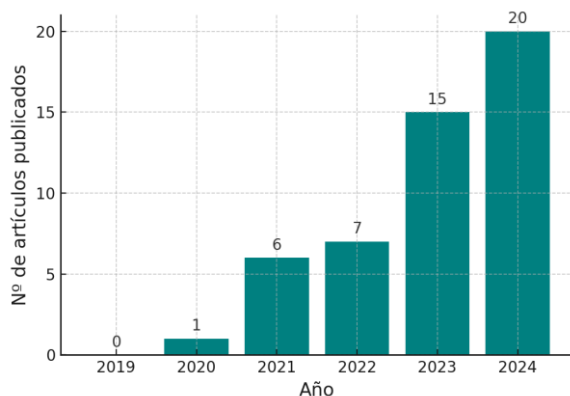


Fig. 2. Cantidad de artículos publicados según el año

El análisis de la Revisión Sistemática de Literatura (RSL) permitió identificar la distribución geográfica de las publicaciones sobre economía circular en el sector industrial. Los resultados evidencian que la producción científica en este campo proviene de una amplia variedad de países, lo que confirma el creciente interés global por implementar estrategias sostenibles en la industria. Entre los países con mayor cantidad de investigaciones destaca Brasil, con 6 artículos, consolidándose como el principal contribuyente en esta temática. Le sigue Italia, con 5 artículos, mientras que

Estados Unidos, Rusia y China han mostrado una participación relevante, con 2 artículos cada uno. Asimismo, países como India y Australia han aportado estudios en esta área, reflejando el interés internacional en la optimización de recursos a través de metodologías de economía circular. En total, se identificaron publicaciones de más de 20 países (Fig. 3), lo que pone de manifiesto la importancia global de esta temática. La diversidad geográfica de los estudios demuestra que la economía circular no solo es una tendencia en países industrializados, sino que también está ganando relevancia en economías emergentes. Este panorama sugiere que la implementación de estrategias circulares en la industria es una necesidad reconocida a nivel internacional, promovida por la urgencia de optimizar el uso de los recursos, reducir la generación de residuos y mitigar los impactos ambientales derivados de la producción industrial.

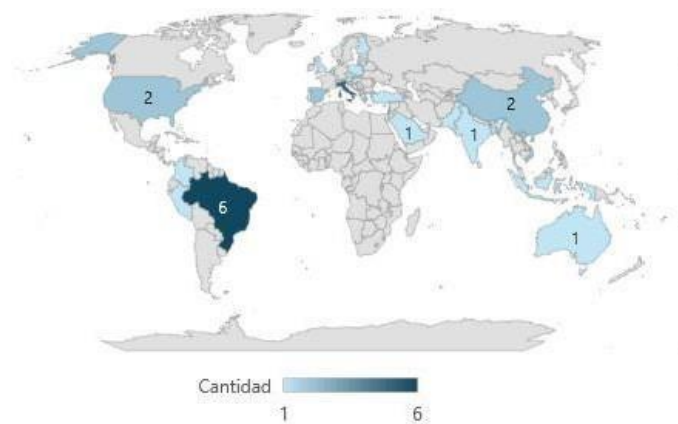


Fig. 3. Cantidad de artículos por país

Por otra parte, se identificaron múltiples metodologías utilizadas en los estudios seleccionados, reflejando la diversidad de enfoques empleados en la implementación de la economía circular en el sector industrial. Entre las más frecuentes se encuentra la Evaluación del Ciclo de Vida (ACV), aplicada en 6 artículos [16], [20], [23], [35], [40], [59], utilizada principalmente para medir el impacto ambiental de los procesos productivos a lo largo de su ciclo de vida. Asimismo, el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) ha sido ampliamente empleado en estudios realizados en Vietnam, Grecia y Perú [14], [17], [47], proporcionando una metodología estructurada para evaluar y priorizar estrategias en la gestión de residuos. Además, se han identificado otras metodologías destacadas, como el Índice de Reparabilidad (IOR), aplicado en investigaciones desarrolladas en Arabia Saudita y Vietnam, lo que demuestra un creciente interés en mejorar la reutilización y reparación de productos. En paralelo, el uso de tecnologías avanzadas de la Industria 4.0, tales como el Internet de las cosas (IoT) y la inteligencia artificial (IA), ha sido reportado en estudios provenientes de Brasil y varios países europeos (Polonia, Rumania y Ucrania) [28], [31], evidenciando la digitalización como un factor clave en la

optimización de procesos circulares. En la Tabla II, se presentan las metodologías más utilizadas en los artículos revisados, junto con su relevancia en la implementación de la economía circular y las referencias bibliográficas correspondientes.

Tabla II.
Metodologías utilizadas en la implementación de la economía circular.

Metodología o herramienta	Importancia	Referencia
Análisis de Ciclo de Vida(ACV)	Metodología principal que se utiliza para medir el impacto ambiental a lo largo de su vida	[16], [20], [23], [35], [40], [59]
Proceso de Jerarquía Analítica (AHP)	Permite una evaluación estructurada y objetiva de las prácticas de gestión de residuos	[14], [17], [47]
Herramientasde análisis DEMATEL	Herramienta de análisis multicriterio en procesos de toma de decisiones	[17]
Sistemas (3R,5R)	Sistemas que buscan mejorar la gestión de residuos y recursos	[18]
Índice de Reparabilidad (IOR)	Modelo matemático basado en el índice de reparabilidad para optimizar la gestión de residuos	[24], [30]
Tecnologías dela Industria 4.0, Internet de las cosas (IoT)	Ayudan a optimizar la gestión de residuos y mejorar la eficiencia en la cadena de suministro	[28], [31]
Simbiosis industrial	Permite alcanzar la EC, a través del intercambio de residuos o subproductos entre empresas	[29]
Análisis de Bigdata.	Ayuda a recopilar, procesar y obtener información para optimizar las operaciones	[34]
Análisis Envolvente de Datos (DEA)	Análisis cuantitativo que permite medir la eficiencia de unidades de toma de decisiones	[60]
MetodologíaBIM y JIT	Integra la información relevante de un proyecto, programación de entregas Just-In-Time, para optimizar la gestión de residuos	[43]
Técnica Delphi	Identifica estrategias de implementación de economía circular en la gestión de residuos	[44]
TOPSIS (Técnica de Orden de Preferencia por Similitud con la Solución Ideal)	Sirve para medir la eficiencia y análisis de agrupamiento para identificar patrones en prácticascirculares	[56]
Sistema de extrusión 3D	Sirve para convertir residuos plásticos en nuevos productos	[46]
Sistemas de Producto- Servicio (PSS)	Sistemas de producción y consumo orientados a productos que incluyen servicios de mantenimiento, reparación y reciclaje	[52]
Huella de Residuos Plásticos	Herramienta de evaluación cuantitativa, sirve para medir y comparar el impacto ambiental de diferentes alternativas	[53]

Costo del Ciclood Vida (LCC)	Sirve para optimizar la gestión de residuos y evaluar el impacto económico de las prácticas de circularidad	[56]
Función de Implementación de Calidad(QFD)	Metodología de diseño de productos y servicios para entregar productos de calidad que cumplan las expectativas del cliente	[57]

Los sectores más abordados fueron la construcción y la industria textil y de la moda, ambos con 9 artículos (18.8%). Estos sectores han sido ampliamente analizados debido a su alto impacto ambiental y la necesidad de optimizar el uso de recursos y reducir residuos. Otros sectores que han recibido atención en la investigación incluyen la industria del plástico, la industria agrícola, la industria manufacturera y la industria de los muebles, cada una con 3 estudios publicados (6.2%). lo que refleja la relevancia de la economía circular en la reducción del consumo de materiales y la optimización de procesos productivos. Asimismo, se han identificado sectores con un menor número de estudios, pero con una presencia significativa, como la industria de la hostelería y el turismo, la industria cerámica, la industria cervecera y la industria alimentaria, con 2 artículos cada una (4.2%), indicando un interés emergente en la aplicación de estrategias circulares en estos ámbitos. Finalmente, se agrupan dentro de la categoría de otras industrias un total de 10 estudios (20.8%), lo que muestra la transversalidad de la economía circular y su aplicabilidad en diversos sectores más allá de los tradicionalmente analizados. Estos sectores han sido investigados principalmente por su potencial para disminuir el impacto ambiental, mejorar la eficiencia en el uso de recursos y optimizar la gestión de residuos, lo que refuerza la importancia de aplicar estrategias circulares en la industria para avanzar hacia modelos más sostenibles (Fig. 4).

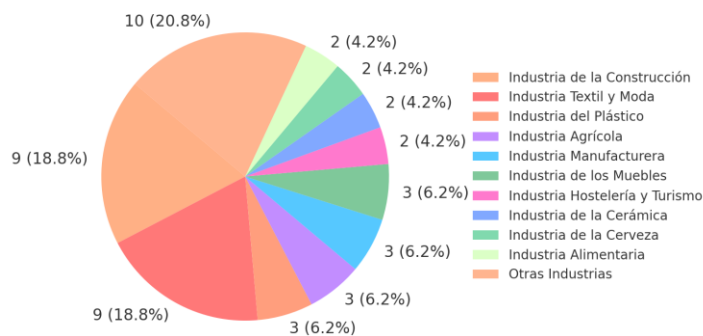


Fig. 4. Porcentaje de Industrias

También se identificaron los indicadores utilizados para medir el impacto ambiental según cada sector (Tabla III). Por ejemplo, en la industria de la construcción, se utilizaron indicadores como el Diagrama de Sankey para el análisis del flujo de materiales reciclados y la Escala de Likert para evaluar la precisión en la detección de canteras [13], [20], [23], [33], [36], [41], [43], [44], [49]. En comparación, la

industria cervecera y la textil emplearon indicadores de huella de carbono y eficiencia en el consumo de recursos (agua y energía) para medir su sostenibilidad [14], [31], [16], [18], [19], [21], [22], [39], [45].

Tabla III.

Indicadores para medir el impacto ambiental según el tipo de Industria

Sector industrial	Indicadores para medir el impacto ambiental	Referencia
Industria de la Construcción	La escala de Likert, Diagrama de Sankey para visualizar el flujo de materiales reciclados, Intersección sobre la unión (IoU) para evaluar la precisión en la detección de canteras.	[13], [20], [23], [33], [36], [41], [43], [44], [49]
Industria Cervecería	Indicadores de huella de carbono, eficiencia y consumo de recursos (agua y energía)	[14], [31]
Industria Textil	Indicadores de huella de carbono, emisiones de CO ₂ y consumo de recursos de manera sostenible	[16], [18], [19], [21], [22], [39], [45], [54], [62]
Industria de Pintura	Indicadores de eficiencia de recursos y reducción de residuos generados	[17]
Industria del Petróleo y Gas	Índice de Reparabilidad (IOR) como indicador para evaluar el impacto ambiental	[24]
Industria Energética	Indicadores de reducción de emisiones de carbono y la cantidad de residuos reciclados	[25]
Industria Hotelera y Turismo	Indicadores de huella de carbono y eficiencia en el uso de recursos para evaluar el impacto ambiental	[26], [55]
Industria Automotriz	Indicadores de desempeño ambiental y operativo	[28]
Industria de la Cerámica	Indicadores de eficiencia de recursos y reducción de residuos	[29], [56]
Industria del Plástico	Tasa de reciclaje, cantidad de residuos plásticos generados, eficiencia del reciclaje	[53], [46], [30]
Industria del Mueble	Certificaciones y estándares de calidad, reducción de residuos generados en el proceso de producción	[15], [32]
Industria Manufacturera	Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), cantidad de residuos reciclados, uso de energía	[34], [58], [59]
Industria Telefónica	Huella de carbono y emisiones de GEI.	[35]
Industria Agrícola	Evaluación de la biodegradabilidad y reducción de emisiones en el ciclo de vida de los biomateriales	[37], [42], [52]
Industria Papelera	Resistencia y durabilidad del papel reciclado como indicador para evaluar el impacto ambiental, cómo la adición de resinas	[38]
Industria Minera	Emisiones de gases y reducción de contaminación	[47]
Industria Alimentaria	Indicadores de sostenibilidad, Huella de Carbono, eficiencia en el uso de recursos	[40], [50], [57]

Industria Siderúrgica	Indicadores relacionados con la reducción de residuos, el uso de recursos y la eficiencia energética	[61]
-----------------------	--	------

IV. DISCUSIÓN

La creciente adopción de estrategias de economía circular en el sector industrial es evidencia de una transformación global hacia modelos de producción y consumo más sostenibles. La revisión sistemática realizada muestra que la economía circular ha ganado protagonismo en la literatura científica en los últimos seis años, lo que refleja un creciente interés tanto en el ámbito académico como en el sector empresarial. Esta tendencia se ve impulsada por la necesidad de reducir el impacto ambiental de las actividades industriales y optimizar el uso de los recursos naturales. Uno de los hallazgos más relevantes de esta revisión es la diversidad de metodologías y herramientas aplicadas en la economía circular. En particular, el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) se posiciona como una metodología clave en la evaluación del impacto ambiental de productos y procesos. Su capacidad para analizar la totalidad del ciclo de vida de un producto permite identificar oportunidades de mejora en términos de reducción de residuos, eficiencia energética y optimización del uso de materiales. Su aplicación en sectores como la construcción y la industria alimentaria es especialmente relevante, ya que estas industrias tienen una alta demanda de recursos y una significativa generación de residuos [16], [20], [23], [35], [40], [59].

Complementariamente, la Simbiosis Industrial emerge como un enfoque efectivo para la optimización de recursos mediante la colaboración interempresarial. Esta metodología permite que los residuos, subproductos o energía sobrante de una empresa se conviertan en insumos para otras industrias, lo que reduce la generación de desechos y mejora la eficiencia en el uso de materiales. Su implementación en diversos sectores ha demostrado que la cooperación entre industrias es fundamental para cerrar el ciclo de los recursos y avanzar hacia una economía más circular [29]. Sin embargo, su aplicación generalizada enfrenta desafíos como barreras regulatorias, falta de incentivos económicos y la necesidad de infraestructura adecuada para el intercambio de materiales y energía. Ejemplos concretos permiten visualizar la aplicabilidad de estos enfoques. Por ejemplo, la cadena hotelera Accor ha implementado exitosamente programas de reducción de residuos alimentarios y reutilización de textiles, mientras que la cervecera BrewDog ha desarrollado un modelo circular que incluye la reutilización de agua tratada y subproductos de malta [63], [64].

Además de las metodologías tradicionales, la digitalización de procesos industriales ha sido identificada como un factor clave en la aceleración de la economía

circular. Tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) y el análisis de Big Data han permitido desarrollar sistemas de monitoreo y control en tiempo real, facilitando la optimización de recursos y la reducción de desperdicios.

El Internet de las Cosas (IoT) ha demostrado ser una herramienta eficaz en sectores como el automotriz y el energético, donde permite rastrear en tiempo real el uso de materiales y optimizar la eficiencia en las cadenas de suministro, contribuyendo así a la reducción de residuos y al aprovechamiento de recursos [28], [41]. No obstante, su implementación enfrenta limitaciones asociadas a los elevados costos iniciales, la necesidad de capacidades tecnológicas avanzadas y la infraestructura digital, especialmente en contextos de economías emergentes o pequeñas empresas. A nivel global, estas dificultades se suman a otros obstáculos estructurales para la adopción de la economía circular, como la ausencia de marcos normativos claros y la limitada oferta de incentivos económicos. En respuesta, países como los Países Bajos y Alemania han fortalecido su legislación ambiental, mientras que en América Latina predominan enfoques colaborativos y voluntarios [65], [66].

La medición del impacto ambiental es fundamental para evaluar la efectividad de las estrategias circulares en la industria. Entre los indicadores más utilizados, la huella de carbono se destaca como una herramienta esencial para cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente CO₂, asociadas a productos y procesos industriales.

La industria de la construcción y la moda han sido identificadas como dos de las más contaminantes a nivel global. En el caso de la construcción, se estima que esta industria es responsable de aproximadamente 23% de la polución atmosférica, 50% del cambio climático, 40% de la contaminación del agua potable y 50% de los residuos sólidos urbanos [13], [14], [19], [26], [34], [35], [41]. Estos datos resaltan la urgente necesidad de implementar estrategias circulares en el sector, tales como el uso de materiales reciclados, la optimización de procesos constructivos y la reducción del desperdicio de materiales.

Por su parte, el sector textil y de moda enfrenta retos ambientales significativos debido a su elevado consumo de agua y la generación masiva de residuos. En particular, la moda rápida es responsable de aproximadamente 10% de las emisiones globales de CO₂, además de tener un impacto considerable en el uso del agua y la producción de aguas residuales industriales. La implementación de la economía circular en este sector se ha centrado en estrategias como el reciclaje de textiles, la reutilización de prendas y el diseño de productos más duraderos. La huella de carbono se ha convertido en un indicador clave para medir el impacto ambiental de estas estrategias y guiar la toma de decisiones para reducir la contaminación generada por la industria textil [13], [17], [19], [31], [49].

Otro indicador fundamental en la economía circular es

la reducción de residuos, con especial énfasis en la industria del plástico. La reutilización y el reciclaje de materiales han demostrado su capacidad para disminuir significativamente las emisiones de GEI a lo largo del ciclo de vida de los productos. Un caso ejemplar es la producción de bienes plásticos a partir de material reciclado en un 100%, lo que puede reducir las emisiones en un 32.21% en comparación con la fabricación basada en materiales vírgenes [15], [17], [19], [20], [30], [51].

V. CONCLUSIONES

La revisión sistemática realizada evidencia un creciente interés en la economía circular, reflejado en el aumento de publicaciones científicas en los últimos seis años. Este crecimiento sugiere que la economía circular está adquiriendo mayor relevancia en la investigación académica y el sector empresarial. Además, la diversidad geográfica de los estudios analizados, con una notable presencia de países como Brasil, Italia, EE. UU., Rusia y China, confirma un compromiso global con la transición hacia modelos industriales más sostenibles.

En cuanto a las metodologías y herramientas aplicadas, se ha identificado un uso variado de enfoques orientados a optimizar la sostenibilidad industrial. Destacan el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), por su capacidad de evaluar impactos ambientales y optimizar el uso de recursos, y la Simbiosis Industrial, como estrategia efectiva para la integración de flujos de materiales y energía entre industrias. Asimismo, las tecnologías digitales avanzadas, como el Internet de las Cosas (IoT) y el análisis de Big Data, han impulsado la optimización de la gestión de recursos y la reducción de desperdicios. Casos concretos como los de Accor y BrewDog demuestran que la economía circular puede ser implementada exitosamente en sectores como la hotelaría o la industria cervecera, contribuyendo tanto al desempeño ambiental como a la competitividad empresarial. Sin embargo, su adopción enfrenta desafíos relacionados con costos e infraestructura, lo que sugiere la necesidad de incentivos para facilitar su implementación. Por otro lado, los indicadores ambientales analizados subrayan la importancia de métricas adecuadas para evaluar el impacto de la economía circular. La huella de carbono, la reducción de residuos y la eficiencia energética son clave para orientar estrategias sostenibles en sectores como la construcción, el plástico, el textil y la moda.

En conclusión, la economía circular es un eje central en la agenda de sostenibilidad global. Su consolidación requiere una combinación de innovación tecnológica, voluntad política y colaboración intersectorial que permita acelerar la transición hacia modelos productivos más responsables, resilientes y eficientes.

REFERENCIAS

- [1] Fundación Ellen MacArthur. Hacia una economía circular: fundamentos económicos y empresariales para una economía circular acelerada Transición; Fundación Ellen MacArthur: Cowes, Reino Unido, 2013.
- [2] Domenech, T.; Bahn-Walkowiak, B. Transición hacia una economía circular eficiente en el uso de los recursos en Europa: lecciones de política de la UE y los Estados miembros. *Ecol. Econ.* 2019, 155, 7–19.
- [3] Rodríguez-Antón, JM, Rubio-Andrada, L., Celemín- Pedroche, MS, Alonso-Almeida, M. DM, 2019. Análisis de las relaciones entre la economía circular y los objetivos de desarrollo sostenible.
- [4] Peláez, P., Del Granado, S., Lambrecht, N., & Navas, R. (2019). Liberando la economía circular en América Latina y el Caribe. BID.
- [5] Forés, VI; Martínez-Sánchez, V.; Valls-Val, K.; Bovea, MD Los informes de sostenibilidad como herramienta de medición y seguimiento de la Transición hacia la economía circular de las organizaciones: Propuesta de indicadores y métricas. *J. Environ. Manag.* 2022, 320, 115784.
- [6] Janik, A.; Ryszko, A.; Szafraniec, M. Gases de efecto invernadero y cuestiones de economía circular en los informes de sostenibilidad de la industria energética El sector en la Unión Europea. *Energías* 2020, 13, 5993.
- [7] Kirchherr, J.; Reike, D.; Hekkert, M. Conceptualización de la economía circular: un análisis de 114 definiciones. *Recursos. Conservación. Reciclaje.* 2017, 127, 221–232.
- [8] Henry, M.; Schraven, D.; Bocken, N.; Frenken, K.; Hekkert, M.; Kirchherr, J. La batalla de las palabras de moda: una revisión comparativa de los conceptos de economía circular y economía colaborativa. *Environ. Innov. Soc. Transit.* 2020, 38, 1–21.
- [9] Ajwani-Ramchandani, R., Figueira, S., de Oliveira, RT, Jha, S., Ramchandani, A., Schuricht, L., 2021. Hacia una economía circular para los residuos de envases mediante el uso de nuevas tecnologías: el caso de las grandes multinacionales en economías emergentes. *J. Clean. Prod.* 281, 125139.
- [10] Abou Taleb, M. y Al Farooque, O., 2021. Hacia una economía circular para el desarrollo sostenible: una aplicación de la contabilidad de costos totales a los materiales reciclables de residuos municipales. *Revista de Producción Más Limpia*, 280, no.124047.
- [11] W. S. Richardson, "The well-built clinical question: a key to evidence-based decisions," *ACP Journal Club*, vol. 123, no. 3, p. A12, Nov. 1995, doi: 10.7326/ACPJC-1995-123-3-A12.
- [12] D. Moher, A. Liberati, J. Tetzlaff, and D. G. Altman, "Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement," *PLoS Medicine*, vol. 6, no. 7, p. e1000097, Jul. 2009, doi: 10.1371/journal.pmed.1000097.
- [13] R. Štefko, J. Chovancová, E. Huttmanová, M. Rovňák, y R. Fedorko, "Management of Circular Economy Processes in the Production of Noise Barriers: Pathways to Sustainability and Innovation," *Polish Journal of Management Studies*, vol. 29, no. 1, pp. 319–334, Jan. 2024, doi: 10.17512/pjms.2024.29.1.19.
- [14] DM Ho, BT Thach and HM Bui, "Establishing criteria for advancing circular economy practices in the beer industry: A case study in South Vietnam", *Environmental Quality Management*, vol. 34, no. 1, p. 22218, 2024. doi: 10.1002/tqem.22218.
- [15] X. Pei, M. Italia, y M. Melazzini, "Enhancing Circular Economy Practices in the Furniture Industry through Circular Design Strategies," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 16, no. 15, p. 6544, Jan. 2024, doi: 10.3390/su16156544.
- [16] S. Abagnato, L. Rigamonti, y M. Grosso, "Life cycle assessment applications to reuse, recycling and circular practices for textiles: A review," *Waste Management*, vol. 182, pp. 74–90, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.wasman.2024.04.016.
- [17] U. Vidal, M. Obregon, E. Ramos, R. Verma, y P. S. Coles, "Sustainable and risk-resilient circular supply chain: A Peruvian paint manufacturing supply chain model," *Sustainable Futures*, vol. 7, p. 100207, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.sfr.2024.100207.
- [18] I. Voukkali, I. Papamichael, P. Loizia, F. Economou, M. Stylianou, V. Naddeo, y A. A. Zorpas, "Fashioning the Future: Green chemistry and engineering innovations in biofashion," *Chemical Engineering Journal*, vol. 497, p. 155039, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.cej.2024.155039.
- [19] O. Sahimaa, E. M. Miller, M. Halme, K. Niinimäki, H. Tanner, M. Mäkelä, M. Rissanen, A. Härri, y M. Hummel, "From Simplistic to Systemic Sustainability in the Textile and Fashion Industry," *Circular Economy and Sustainability*, vol. 4, no. 2, pp. 1115–1131, Feb. 2024, doi: 10.1007/s43615-023-00322-w.
- [20] M. Y. D. Alazaiza, A. Albahnasavi, M. Eyvaz, T. A. Maskari, S. S. Abu Amr, D. E. Nassani, M. S. Abu Jazar, and S. M. Al-Abod, "An overview of circular economy management approach for sustainable construction and demolish waste management," *Global Nest Journal*, vol. 26, no. 6, pp. 5824, 2024. doi: 10.30955/gnj.05824.
- [21] M. Hossain, R. A. Aziz, C. L. Karmaker, B. Debnath, A. B. M. M. Bari, and A. R. M. T. Islam, "Exploring the barriers to implement industrial symbiosis in the apparel manufacturing industry: Implications for sustainable development," *Heliyon*, vol. 10, no. 13, pp. e34156, 2024. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e34156.
- [22] L. J. Suarez-Visbal, J. Rosales-Carreón, B. Corona, J. Hoffman, and E. Worrell, "Transformative circular futures in the textile and apparel value chain: Guiding policy and business recommendations in the Netherlands, Spain, and India," *Journal of Cleaner Production*, vol. 447, pp. 141512, 2024. doi: 10.1016/j.jclepro.2024.141512.
- [23] I. Papamichael, I. Voukkali, P. Loizia, and A. A. Zorpas, "Construction and demolition waste framework of circular economy: A mini review," *Waste Management and Research*, vol. 41, no. 12, pp. 1728–1740, Dec. 2023, doi: 10.1177/0734242X231190804.
- [24] A. Alkhouh, K. A. Keddar, and S. Alatefi, "Revolutionizing reparability of industrial electronics in oil and gas sector: A mathematical model for the index of reparability (IOR) as a novel technique," *Electronics (Switzerland)*, vol. 12, no. 11, Art. no. 2461, Nov. 2023, doi: 10.3390/electronics12112461.
- [25] M.R.C. Santos, A. Rolo, D. Matos, and L. Carvalho, "The circular economy in corporate reporting: Text mining of energy companies' management reports," *Energies*, vol. 16, no. 15, Art. no. 5791, 2023, doi: 10.3390/en16155791.
- [26] P. Scholz, P. Vrabcová, I. Linderová, and H. Kotoučková, "Integrated application of selected elements of sustainability, circular economy, bioeconomy, and environmental management system in guesthouses," *BioResources*, vol. 18, no. 2, pp. 2726–2745, 2023, doi: 10.15376/biores.18.2.2726-2745.
- [27] P. Heggelund, M. B. Hersdal, and J. A. Hunnes, "Navigating the green path: The Scandinavian outdoor industry's quest for sustainability," *Cogent Business and Management*, vol. 10, no. 3, Art. no. 2268336, 2023, doi: 10.1080/23311975.2023.2268336.
- [28] S. A. R. Khan, M. Umar, A. Asadov, M. Tanveer, and Z. Yu, "Technological revolution and circular economy practices: A mechanism of green economy," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 8, p. 4524, 2022, doi: 10.3390/su14084524.
- [29] L. Castellet-Viciano, V. Hernández-Chover, Á. Bellver- Domingo, and F. Hernández-Sancho, "Industrial symbiosis: A mechanism to guarantee the implementation of circular economy practices," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 23, p. 15872, 2022, doi: 10.3390/su142315872.
- [30] T. T. A. Nguyen, Y. T. Ta, and P. K. Dey, "Developing a plastic cycle toward circular economy practice," *Green Processing and Synthesis*, vol. 11, no. 1, pp. 526–535, 2022, doi: 10.1515/gps-2022-0014.
- [31] M. C. Gruba, D. Denes, R. C. G. Lobo, and A. J. Isaak, "Circular Economy Initiatives: Strategic Implications, Resource Management, and Entrepreneurial Innovation in a Brazilian Craft Beer Ecosystem during the COVID Era," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 19, p. 11826, 2022, doi: 10.3390/su141911826.
- [32] M. Barbaritano, L. Bravi, and E. Savelli, "Sustainability and quality management in the Italian luxury furniture sector: A circular economy perspective," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 11, no. 11, p. 3089, 2019, doi: 10.3390/su11113089.
- [33] I. Amarasinghe, Y. Hong, y R. A. Stewart, "Visualising a framework for enhancing material circularity in building construction projects:

- Drivers, barriers, and strategies," *Building and Environment*, vol. 253, pp. 111359, Feb. 2024. doi: 10.1016/j.buildenv.2024.111359.
- [34] J.-P. Schögl, L. Stumpf, y R. J. Baumgartner, "The role of interorganizational collaboration and digital technologies in the implementation of circular economy practices—Empirical evidence from manufacturing firms," *Business Strategy and the Environment*, vol. 33, no. 3, pp. 2225-2249, Oct. 2024. doi: 10.1002/bse.3593.
- [35] A. Saeed, M. Jian, M. Imran, G. Freen, y A. ur Rehman Majid, "Green-resilient model for smartphone closed-loop supply chain network design: A novel four-valued refined neutrosophic optimization," *Computers and Industrial Engineering*, vol. 190, Mar. 2024. doi: 10.1016/j.cie.2024.110087.
- [36] F. J. López-Acedo, M. J. Herrero, J. I. Escavy, y M. A. Peláez Fernández, "Identification of Aggregates Quarries via Computer Vision Analysis as a Tool for Sustainable Aggregates Management and Land Planning," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 16, no. 8, p. 3099, Apr. 2024. doi: 10.3390/su16083099.
- [37] Y. Duan, L. Zhang, H. Su, D. Yang, y J. Xu, "Eco-Innovation: Corn Stover as the Biomaterial in Packaging Designs," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 16, no. 4, p. 1381, Feb. 2024. doi:10.3390/su16041381.
- [38] E. Małachowska, "Striving for Sustainable Solutions: Optimizing Utility Properties of Recycled Paper with the Addition of Wet Strength Resin," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 16, no. 9, p. 3752, Apr. 2024. doi: 10.3390/su16093752.
- [39] S. Sehnem, L. Troiani, A. C. Lara, M. Guerreiro Crizel, L. Carvalho, and V. P. Rodrigues, "Sustainable fashion: challenges and barriers for advancing the circular economy," *Environment, Development and Sustainability*, vol. 26, no. 2, pp. 4097-4118, Jan. 2023, doi: 10.1007/s10668-022-02872-9.
- [40] A. Suychinov, D. Akimova, A. Kakimov, Y. Zharykbasov, A. Baikadamova, E. Okuskanova, A. Bakiyeva, and N. Ibragimov, "Revolutionizing meat processing: a nexus of technological advancements, sustainability, and cultured meat evolution," *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*, vol. 18, pp. 331-346, Mar. 2024, doi: 10.5219/1957.
- [41] I. Mavlutova, D. Atstaja, S. Gusta, and J. Hermanis, "Management of Household-Generated Construction and Demolition Waste: Circularity Principles and the Attitude of Latvian Residents," *Energies*, vol. 17, no. 1, p. 205, Jan. 2024, doi: 10.3390/en17010205.
- [42] K. R. D. M. Valente and S. D. C. A. Ribeiro, "Current Perspectives on the Development of Food Packaging in Local Agri-Food Systems: An Integrative Review," *Revista de Gestão Social e Ambiental*, vol. 18, no. 3, p. e06976, Mar. 2024, doi: 10.24857/RGSA.V18N3-112.
- [43] N. Andriyani, P. Suprobo, T. J. W. Adi, W. A. N. Aspar, A. D. Jatmiko, and A. D. Santoso, "Integrating urban building information modeling and circular economy framework for green sustainability," *Global Journal of Environmental Science and Management*, vol. 10, no. 3, pp. 1313-1332, Mar. 2024, doi: 10.22034/gjesm.2024.03.22.
- [44] G. D. A. U. Garusinghe, B. A. K. S. Perera, and U. S. Weerapperuma, "Integrating Circular Economy Principles in Modular Construction to Enhance Sustainability," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 15, Art. no. 11730, Jul. 2023, doi: 10.3390/su151511730.
- [45] I. Silobrit and D. Jureviciene, "Assessing Circular Textile Industry Development," *Economics and Culture*, vol. 20, no. 1, pp. 55-67, May. 2023, doi:10.2478/jec-2023-0005.
- [46] A. Al Rashid and M. Koç, "Additive manufacturing for sustainability, circularity and zero-waste: 3DP products from waste plastic bottles," *Composites Part C: Open Access*, vol. 14, Apr. 2024, Art. no. 100463, doi: 10.1016/j.jcomc.2024.100463.
- [47] P.-M. Spanidis, C. Roumpou, and F. Pavloudakis, "Evaluation of Strategies for the Sustainable Transformation of Surface Coal Mines Using a Combined SWOT-AHP Methodology," *Sustainability*, vol. 15, no. 10, pp. 7785, May 2023, doi: 10.3390/su15107785.
- [48] C. A. Bernal-Torres, L. E. Torres-Guevara, J. C. Aldana-Bernal, Y. W. Nicolás-Rojas, and T. T. Pando-Ezcurra, "The moderating role of innovation in the relationship between business sustainability and organizational performance in companies of an emerging economy," *SAGE Open*, vol. 13, no. 4, 2023, Art. no. 21582440231217870, doi: 10.1177/21582440231217870.
- [49] M. S. Hassan, Y. Ali, A. Petrillo, and F. De Felice, "Risk assessment of circular economy practices in construction industry of Pakistan," *Science of the Total Environment*, vol. 868, Art. no. 161418, 2023, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.161418.
- [50] M. Kondala, S. S. Nudurupati, E. Riwayadi, A. Chavan, S. R. Asif, and N. Gupta, "Moving towards a sustainable world with the circular economy practices concerning the SMEs in Visakhapatnam's ice-cream industry," *Journal of Autonomous Intelligence*, vol. 6, no. 1, Art. no. 676, 2023, doi: 10.32629/jai.v6i1.676.
- [51] M. Fuchs and G. Hovemann, "Homogeneity or Heterogeneity: An Institutional Theory View on Circular Economy Practices in the Outdoor Sporting Goods Industry," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 10, p. 6279, 2022, doi: 10.3390/su14106279.
- [52] C. Kolling, J. F. de Medeiros, J. L. Duarte Ribeiro, and D. Moreira, "A conceptual model to support sustainable Product-Service System implementation in the Brazilian agricultural machinery industry," *Journal of Cleaner Production*, vol. 355, p. 131733, 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.131733.
- [53] J. J. Klemeš, Y. V. Fan, and P. Jiang, "Plastics: friends or foes? The circularity and plastic waste footprint," *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, vol. 43, no. 13, pp. 1549-1565, 2021, doi: 10.1080/15567036.2020.1801906.
- [54] V. Jacometti, "Circular Economy and Waste in the Fashion Industry," *Laws*, vol. 8, no. 4, p. 27, 2019, doi: 10.3390/laws8040027.
- [55] M. A. Camilleri, "Sustainable production and consumption of food. Mise-en-place circular economy policies and waste management practices in tourism cities," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 17, p. 9986, 2021, doi: 10.3390/su13179986.
- [56] M. S. Medina-Salgado, F. E. García-Muñia, M. Cucchi, and D. Settembre-Blundo, "Adaptive life cycle costing (LCC) modeling and applying to Italy ceramic tile manufacturing sector: Its implication of open innovation," *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, vol. 7, no. 1, p. 101, 2021, doi: 10.3390/JOITMC7010101.
- [57] Y. Kazancoglu, E. Ada, M. Ozbiltekin-Pala, and R. Aşkın Uzel, "In the nexus of sustainability, circular economy and food industry: Circular food package design," *Journal of Cleaner Production*, vol. 415, p. 137778, 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.137778.
- [58] U. Awan, R. Stroufe, and M. Shabbaz, "Industry 4.0 and the circular economy: A literature review and recommendations for future research," *Business Strategy and the Environment*, vol. 30, no. 4, pp. 2038-2060, 2021, doi: 10.1002/bse.2731.
- [59] T. Calzolari, A. Genovese, and A. Brint, "Circular Economy indicators for supply chains: A systematic literature review," *Environmental and Sustainability Indicators*, vol. 13, p. 100160, 2022, doi: 10.1016/j.indic.2021.100160.
- [60] C. Lu, Y. Zhang, H. Li, Z. Zhang, W. Cheng, S. Jin, and W. Liu, "An integrated measurement of the efficiency of China's industrial circular economy and associated influencing factors," *Mathematics*, vol. 8, no. 9, p. 1610, 2020, doi: 10.3390/math8091610.
- [61] L. Tolettini and E. Di Maria, "The Impact of Industry 4.0 on the Steel Sector: Paving the Way for a Disruptive Digital and Ecological Transformation," *Recycling*, vol. 8, no. 4, p. 55, 2023, doi:10.3390/recycling8040055.
- [62] C. M. Ostermann, L. da Silva Nascimento, F. K. Steinbruch, and D. Callegaro-de-Menezes, "Drivers to implement the circular economy in born-sustainable business models: a case study in the fashion industry," *Revista de Gestão*, vol. 28, no. 3, pp. 223-240, 2021, doi: 10.1108/REGE-03-2020-0017.
- [63] [64] Accor Group, Sustainable Development Report, Accor, Paris, France, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://group.accor.com/en/commitment/sustainable-development>
- [64] BrewDog, Sustainability Report: Tomorrow Starts Today, BrewDog PLC, Ellon, Scotland, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.brewdog.com/uk/tomorrow>
- [65] J. Kirchherr, D. Reike, y M. Hekkert, "Conceptualizing the circular

- economy: An analysis of 114 definitions,” *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 127, pp. 221–232, 2017. doi: 10.1016/j.resconrec.2017.09.005
- [66] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), *Economía Circular en América Latina y el Caribe: Una visión compartida*, CEPAL, Santiago de Chile, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/46680-economia-circular-america-latina-caribe-vision-compartida>