



Procedimientos para la viabilidad de la economía circular en la industria envasadora de café: una revisión sistemática.

Procedures for the viability of the circular economy in the coffee packaging industry: a systematic review.

Diana Raquel Salazar Arreaga¹, Galo Arturo Perero Espinoza²
^{1,2}Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo - Ecuador

Recibido: 12 de febrero de 2025.

Aceptado: 14 de julio de 2025.

Publicado: 01 de septiembre de 2025.

Resumen- La investigación tuvo como objetivo sistematizar el conocimiento existente sobre los procedimientos para la viabilidad de la economía circular en la industria envasadora de café, a través de una revisión sistemática. Se identificaron barreras y estrategias clave para su adopción, proporcionando un marco de referencia sobre prácticas sostenibles y eficiencia productiva. Mediante el análisis de diversas investigaciones, se evaluaron diferentes procedimientos y prácticas sostenibles, como la reutilización de subproductos y la optimización de la cadena de valor, destacándose la importancia de los flujos de materiales desde la producción de café hasta el envasado y la distribución; la estandarización de la economía circular en la industria va a generar beneficios económicos, ambientales y sociales para contribuir a un futuro más sostenible para la industria del café.

Palabras clave: envasado, economía circular, cadena de valor, sostenibilidad, café.

Abstract— The research aimed to systematize the existing knowledge on the procedures for the viability of the circular economy in the coffee packaging industry, through a systematic review. Key barriers and strategies for its adoption were identified, providing a framework on sustainable practices and productive efficiency. Through the analysis of various researches, different sustainable procedures and practices were evaluated, such as the reuse of by-products and the optimization of the value chain, highlighting the importance of material flows from coffee production to packaging and distribution; The standardization of the circular economy in the industry will generate economic, environmental and social benefits to contribute to a more sustainable future for the coffee industry.

Keywords: systematic review, circular economy, coffee value chain, sustainability, coffee.

*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: diana.salazar@universidad.com (Diana Raquel Salazar Arreaga).

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad de Santander.

Este es un artículo bajo la licencia CC BY (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Como citar este artículo: D. R. Salazar-Arreaga y G. A. Perero-Espinoza, "Procedimientos para la viabilidad de la economía circular en la industria envasadora de café: una revisión sistemática", Aibi revista de investigación, administración e ingeniería, vol. 13, no. 3, pp. 01-12 2025, doi: [10.15649/2346030X.5065](https://doi.org/10.15649/2346030X.5065)

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día en un mundo exageradamente confrontado por diversos desafíos ambientales que no tienen precedentes, el modelo económico "tomar-hacer-desechar" ha demostrado ser insostenible. Ante ello y frente a esta realidad, la economía circular se presenta como un paradigma prometedor que promueve un consumo y producción responsable, minimizando los residuos y maximizando el uso de recursos, esto infiere que no solo es relevante para la sostenibilidad ambiental, sino también para la viabilidad económica y la equidad social a largo plazo dentro de un sistema en específico. Dentro de este marco, la industria envasadora de café emerge como un sector clave dada su influencia global y su potencial para la implementación de procedimientos circulares, sin embargo, se resalta que la transición hacia estrategias realmente más sostenibles enfrenta múltiples desafíos, desde barreras técnicas y culturales hasta obstáculos regulatorios y de mercado.

Uno de los procedimientos clave en la economía circular aplicada a esta industria es el diseño óptimo de envases, priorizando materiales reutilizables y reciclables, se cita un estudio reciente propuso un marco de economía circular basado en la optimización multiobjetivo, empleando herramientas como la programación lineal de enteros mixtos (MILP) y el análisis del ciclo de vida (LCA), demostrando que las bolsas multicapa representan la opción más viable para minimizar costos y reducir emisiones de gases de efecto invernadero [1]. De manera complementaria a lo mencionado, se recalca que la reutilización de residuos del café en la producción de biocompuestos ha sido explorada como una solución innovadora para desarrollar envases biodegradables. Investigaciones recientes en diversos países han logrado fabricar materiales resistentes y con propiedades antioxidantes a partir de ácido poliláctico y piel plateada de café, lo que demuestra su potencial para la industria del envasado sostenible respectivamente [2]. Un concepto anidado a esto, corresponde a la bioeconomía circular, la cual se plantea como una estrategia integral capaz de transformar los sistemas sociales y organizacionales hacia un modelo de sostenibilidad global, esto ha sido fundamentado y argumentado por Morone et al. [3], el cual manifiesta que este enfoque integra el aprovechamiento de biomasa renovable, el reciclaje de materiales y el cierre de ciclos de producción y consumo, configurándose como una alternativa que trasciende la simple gestión de residuos para convertirse en un modelo de innovación sistémica.

Otra estrategia ante esta problemática tan relevante es la implementación de cafeterías circulares como centros de recolección de residuos de café, equipadas con tecnologías de pre-secado que mejoran la eficiencia del reciclaje. Este modelo, desarrollado en Montreal, busca reducir el impacto ambiental y económico de la gestión de desechos mediante la recolección centralizada y el tratamiento eficiente de los residuos orgánicos y él propone que se realice de manera sistemática [4]. De manera similar, en Indonesia se ha implementado un modelo de economía circular agrícola, en el que los residuos del café son transformados en biocompost, beneficiando tanto al medio ambiente como a las comunidades locales al mejorar la calidad del suelo y generar ingresos adicionales, esto último corresponde a un beneficio extra de lo mencionado [5].

A nivel industrial, se recalca que la incorporación de principios de economía circular en la industria del envasado ha sido un tema de creciente interés en Europa. Un estudio reciente evidenció que la transición a un modelo más sostenible depende de la reciclabilidad, reutilización y reducción de materiales, así como de la innovación en el diseño y la gestión de residuos dentro de las empresas [6], sin embargo, para medir la efectividad de estas estrategias, es fundamental contar con indicadores de circularidad. La evaluación de sistemas económicos circulares requiere metodologías como el análisis del flujo de materiales y la medición del impacto ambiental de la reutilización y el reciclaje. Ante estos parámetros se permiten cuantificar el nivel de implementación de la economía circular y detectar oportunidades de mejora en la eficiencia de los procesos productivos [7].

La transición hacia una economía circular en la industria del café en la actualidad globalizada también depende de la aceptación y participación del consumidor. Es así que el marketing desempeña un papel clave en la promoción de modelos de reutilización y reciclaje, influenciando el comportamiento de los consumidores a través de campañas que destacan los beneficios ambientales y económicos de estos productos. Además, un estudio relacionado con aquello, enfatizó la importancia de la educación y la concienciación en la adopción de la economía circular, destacando que estrategias de comunicación efectivas pueden acelerar la transición a prácticas más sostenibles [8].

Van y Kirchherr [9] abordan esta problemática mediante un estudio de caso en la cadena de valor de un importador de café de especialidad en Ámsterdam, destacando cómo la experimentación en modelos de negocio (BME) puede contribuir a la sostenibilidad ecológica, social y financiera. Identifican como principales barreras la falta de coherencia en las políticas gubernamentales, el pensamiento en "silos" industriales y la estandarización del diseño circular, mientras que reconocen la conciencia y visión comunes y la solidez de los modelos de negocio como facilitadores cruciales.

Complementando este análisis, Baratsas et al. [10] presentan un marco de ingeniería de sistemas para la optimización de cadenas de suministro de alimentos bajo consideraciones de EC, con un enfoque en el café. Este trabajo subraya la necesidad de un enfoque holístico y de herramientas de toma de decisiones cuantitativas para analizar y optimizar los intercambios y sinergias en la cadena de suministro alimentaria, ilustrando la aplicabilidad de su marco a través de un estudio de caso del suministro de café.

Por otro lado, Lagrasta et al. [11] en este mismo ámbito exploran modelos de negocios circulares en el sector cafetalero de Tanzania, concentrándose en la recuperación de subproductos como una solución a la sostenibilidad ambiental, social y económica. Es importante mencionar que este estudio no solo aporta al corpus teórico sobre modelos de negocios circulares, sino que también ofrece implicaciones prácticas significativas para la gestión y la innovación empresarial en contextos de países en desarrollo respectivamente.

Además, otro estudio de Suchek et al. [12] se destaca por realizar una exhaustiva revisión sistemática de la literatura, abordando la innovación y la economía circular desde la óptica empresarial. Esto infiere identifica y detalla tanto los temas clave como los factores internos y externos que influyen en la transición de las empresas hacia prácticas de economía circular. Se concluye en esta sección que los hallazgos proporcionan una base esencial para comprender cómo las organizaciones pueden integrar la economía circular en sus estrategias y operaciones, subrayando la importancia de adaptarse a las condiciones cambiantes del mercado y las regulaciones ambientales.

Avraamidou et al. [13] resaltan los desafíos y oportunidades para la ingeniería de sistemas de procesos en la transición hacia una EC, proponiendo oportunidades de investigación en PSE para asistir en el análisis y optimización de cadenas de suministro de EC. A través de un ejemplo motivador en la cadena de suministro del café, ilustran los desafíos de la transición hacia una EC y proponen oportunidades de investigación en PSE.

A partir de estos antecedentes revelan una creciente concienciación sobre la necesidad de modelos de negocio sostenibles en la industria del café y destacan tanto las oportunidades como los desafíos inherentes a la adopción de prácticas de economía circular. Sin embargo, aún existen lagunas significativas en la aplicación específica de estos principios al contexto de la industria envasadora de café, lo que subraya la importancia de la presente investigación. También es importante recalcar que, a través de la recopilación y análisis de estudios previos sobre economía circular en la industria envasadora de café, este trabajo aspira a contribuir a la sostenibilidad ambiental, económica y social del sector, proporcionando una base teórica para futuras investigaciones y prácticas empresariales.

Para efectos de este apartado, se consideraron los siguientes conceptos:

Tabla 1: Conceptos de economía circular.

Autor(es)	Año	Definición
Bhandari [14]	2024	La economía circular en la industria busca mantener los productos, componentes y materiales en su máxima utilidad y valor a lo largo del tiempo.
Franjić [15]	2024	Un modelo económico basado en el cierre de ciclos productivos para minimizar residuos y maximizar el aprovechamiento de recursos.
Uršič, Fric y Rončević [16]	2024	La economía circular en la industria promueve la reducción, reutilización y reciclaje de materiales para evitar el desperdicio.
Gureva y Deviatkova [17]	2020	Es un sistema de producción y consumo que prioriza la regeneración de recursos y la sostenibilidad a largo plazo.
Tabatadze [18]	2022	Un enfoque en el que los residuos de una industria se convierten en insumos de otra, optimizando el uso de recursos.
Jakobsen et al. [19]	2021	Un modelo industrial que busca la eficiencia en el uso de materiales, prolongando la vida útil de los productos.
Bugaian y Diaconu [20]	2020	La economía circular en la industria transforma la cadena de valor para integrar procesos sostenibles y cerrados.
Ferro [21]	2021	Un sistema basado en la producción de bienes y servicios minimizando el impacto ambiental y maximizando la reutilización.
Shebanin y Reshetilov [22]	2021	Un paradigma industrial que sustituye el modelo lineal de 'producir-usar-desechar' por estrategias de economía circular.
Dongez, et al. [23]	2021	Un modelo que integra el ecodiseño y la reutilización de materiales en la producción industrial para minimizar el impacto ambiental.
Morseletto [24]	2020	La economía circular en la industria fomenta la reparación, renovación y reciclaje de productos para extender su vida útil.
Fullerton [25]	2024	Es un enfoque que promueve la reducción del uso de recursos vírgenes mediante la implementación de procesos industriales regenerativos.
Alaeddine [26]	2020	Un sistema productivo que busca cerrar los ciclos de vida de los materiales mediante estrategias de recuperación y reutilización.
Avramchikova et al. [27]	2021	Un modelo económico que promueve el uso eficiente de los recursos naturales mediante tecnologías limpias y energías renovables.
Maksymiv et al. [28]	2021	Un marco industrial que impulsa la simbiosis entre sectores para maximizar la eficiencia en el uso de insumos.
Webster [29]	2021	La economía circular busca transformar la industria mediante procesos sostenibles que reduzcan la dependencia de materias primas vírgenes.
Rajković et al. [30]	2020	Una estrategia industrial que convierte residuos en nuevos materiales y productos, reduciendo la extracción de recursos naturales.
Chobanova [31]	2020	Un modelo de negocio industrial que prioriza la reparación, reutilización y reciclaje para mejorar la eficiencia en la producción.
Muchangos [32]	2021	Un concepto que propone cerrar los ciclos industriales mediante la regeneración de materiales y la minimización de residuos.
Voitko et al. [33]	2022	Un sistema industrial que se basa en la economía regenerativa para reducir el impacto ambiental y fomentar la sostenibilidad.

El análisis de los 20 conceptos sobre economía circular en la industria revela una convergencia en torno a la reducción de residuos, la reutilización de materiales y la eficiencia en el uso de recursos. Autores como Uršič, et al., [16] y Morseletto [24] enfatizan la importancia de integrar estrategias de reciclaje y renovación para prolongar la vida útil de los productos, mientras que Tabatadze [18] y Bugaian y Diaconu [20] destacan la necesidad de transformar los residuos industriales en insumos para otros sectores, promoviendo así la simbiosis industrial. En este sentido, la economía circular en la industria no solo busca minimizar la generación de desechos, sino también maximizar el valor y la utilidad de los materiales a lo largo del tiempo como mencionan los autores ya referidos.

Otra coincidencia relevante en esta temática se encuentra en la transición del modelo lineal de producción hacia un enfoque regenerativo y sostenible. Shebanin y Reshetilov [22] y Webster [29] plantean que el modelo tradicional de "producir-usar-desechar" debe ser sustituido por estrategias circulares que integren la reparación, el ecodiseño y el cierre de ciclos productivos. En esta misma línea, Franjić [15] y Fullerton [25] subrayan la importancia de la reducción del uso de recursos vírgenes, promoviendo procesos productivos que prioricen la eficiencia energética y la sostenibilidad a largo plazo. Este enfoque es clave para reducir la dependencia de materias primas y minimizar el impacto ambiental de la industria.

Cabe resaltar que, la producción sostenible de café ha adquirido un papel determinante para garantizar la permanencia de las comunidades productoras y la calidad del grano en mercados cada vez más exigentes; Molina et al. [34] destacan que estas estrategias resultan esenciales para fortalecer el relevo generacional en zonas rurales, ya que permiten a los jóvenes visualizar un futuro rentable y responsable dentro de la caficultura, lo que asegura la continuidad del sector y su estabilidad a largo plazo. Esta visión se complementa con las experiencias documentadas por Ortiz et al. [35], quienes muestran a detalle cómo el emprendimiento sostenible, ejemplificado en Pizpireto Café se convierte en un mecanismo de apoyo a pequeños caficultores en tiempos de crisis, generando resiliencia empresarial y ampliando oportunidades de inserción en cadenas de valor más diversificadas.

A su vez y dentro de este sector, la sostenibilidad cafetera encuentra nuevos referentes en modelos alternativos de negocio basados en la regeneratividad; Arroyo et al. [36] exponen el caso de los insectos comestibles como una estrategia innovadora de aprovechamiento integral y bajo impacto ambiental, cuya lógica puede trasladarse a la caficultura al promover que los subproductos se conviertan en fuentes de innovación y no en desechos, potenciando la diversificación y fortaleciendo el equilibrio entre producción, economía y entorno. Con estos antecedentes, la

discusión sobre sostenibilidad en la industria cafetera no se limita al cuidado ambiental, sino que incorpora dimensiones sociales y económicas que apuntan a la construcción de un sector más dinámico, resiliente y competitivo.

Este estudio se inscribe dentro de una tendencia científica y ambiental que busca respuestas a los imperativos de sostenibilidad global. La EC, en este sentido, no es solo una estrategia para la gestión de recursos y residuos, sino también una oportunidad para redefinir los modelos de negocio y las cadenas de suministro hacia prácticas más regenerativas y sostenibles. Asimismo, se sintetiza que el marco teórico de esta investigación se nutre de los conceptos y principios fundamentales de la EC, analizando cómo estos pueden ser aplicados específicamente en el contexto de la industria envasadora de café. Cabe resaltar que esta aproximación teórica se apoya en modelos y programas internacionales que promueven la adopción de prácticas sostenibles, como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, y en la literatura existente que aborda desde diversas perspectivas los retos y oportunidades de la EC en sectores agroindustriales.

La revisión de los antecedentes demuestra claramente que existe una creciente exploración de los modelos de negocio circulares en la agroindustria, pero también destaca la necesidad de avanzar hacia implementaciones más concretas y adaptadas a realidades específicas, como la de la industria envasadora de café. Las investigaciones precedentes han puesto de manifiesto problemas existentes, como la gestión ineficiente de subproductos y residuos, la falta de integración en la cadena de valor, y las barreras culturales y regulatorias para la adopción de prácticas circulares. No obstante, a través de aquello también han iluminado caminos hacia soluciones innovadoras y sostenibles, enfatizando la importancia de marcos de ingeniería de sistemas, la optimización de cadenas de suministro bajo consideraciones de CE, y la potencial revalorización de subproductos como elementos clave para la transición hacia una economía más circular.

La motivación central de este estudio radica en la creciente necesidad de transformar las prácticas de producción en la industria envasadora de café hacia modelos sostenibles, que no solo reduzcan el impacto ambiental, sino que también promuevan un uso eficiente de los recursos y beneficios económicos a largo plazo. A través de una investigación sistemática, el trabajo se enfoca en analizar los diseños actuales de economía circular aplicados en esta industria, identificando barreras y habilitadores claves para su adopción. Este enfoque permite explorar soluciones prácticas y contextualizadas que puedan adaptarse a las particularidades del sector.

La relevancia de esta investigación es evidente dada la magnitud de los desafíos ambientales relacionados con los residuos generados por el envasado de café, un producto de consumo masivo con un impacto significativo en los ecosistemas. La industria envasadora tiene un rol estratégico en la transición hacia una economía circular, y estudiar los modelos actuales facilita no solo la comprensión de las prácticas exitosas, sino también la identificación de áreas críticas que requieren innovación y mejoras. Este trabajo, aunque no busca diseñar ni implementar directamente soluciones, se posiciona como una contribución académica significativa al consolidar un marco de referencia para futuras investigaciones y desarrollos en la sostenibilidad del sector.

Ante ello, el objetivo central de este trabajo es analizar los procedimientos para la viabilidad de la economía circular en la industria envasadora de café, a través de una revisión sistemática que identifique las estrategias más relevantes, las barreras que dificultan su implementación y los factores que pueden facilitar su adopción. Esta investigación busca aportar un marco de referencia basado en la literatura existente, permitiendo comprender cómo las prácticas circulares pueden optimizar el uso de recursos, reducir el impacto ambiental y fortalecer la sostenibilidad en el sector.

II. METODOLOGÍA O PROCEDIMIENTOS

Para este estudio de revisión, se eligió la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) debido a su reconocida capacidad para estructurar de manera sistemática y transparente la compilación, evaluación y síntesis de literatura pertinente [37]. Este marco metodológico facilitó un análisis riguroso y ordenado de la literatura existente relacionada con la economía circular en la industria envasadora de café, asegurando tanto la reproducibilidad como la integridad de los resultados obtenidos.

La búsqueda de información se realizó mediante consultas detalladas en bases de datos prominentes tales como Scopus, Web of Science, ScienceDirect y Google Scholar. Estas plataformas fueron seleccionadas por su importancia y cobertura exhaustiva en temas de sostenibilidad, economía circular y prácticas de envasado en la industria alimentaria. Se seleccionaron estudios publicados entre el 2020 y 2024 en bases de datos académicas como Scopus, Web of Science, ScienceDirect y Google Scholar, priorizando investigaciones sobre economía circular en la industria del café y sectores afines.

Con el propósito de garantizar la sistematicidad del proceso, se diseñaron ecuaciones de búsqueda específicas para cada base de datos, integrando los descriptores mediante operadores booleanos (AND, OR). Algunas de las principales estrategias utilizadas fueron: en Scopus y Web of Science: "circular economy" AND "coffee industry" OR "coffee packaging"; en ScienceDirect: "sustainable packaging" AND "circular economy" AND "coffee"; en Google Scholar: "circular economy" AND "coffee sector" AND ("by-products" OR "subproducts"); y en Scielo y Redalyc: "economía circular" AND "industria del café" AND "envases sostenibles". Estas ecuaciones fueron ajustadas a los filtros de cada plataforma, restringiendo el rango temporal a publicaciones entre 2020 y 2024.

Para la búsqueda se emplearon términos cuidadosamente seleccionados que incluyeron "economía circular", "industria envasadora de café", "sostenibilidad", "modelos de negocio circulares" y "prácticas de envasado sostenible". Estas palabras clave se combinaron de diversas maneras y se ajustaron lingüísticamente para abarcar la máxima cantidad de literatura relevante.

Una vez recopilados, los documentos pasaron por una fase de cribado inicial en la que se evaluaron títulos y resúmenes para eliminar aquellos trabajos que no estaban directamente relacionados con el enfoque del estudio o que no cumplían con los estándares de calidad y pertinencia previamente definidos. Los documentos que superaron esta selección preliminar fueron sometidos a un escrutinio más profundo para evaluar en detalle la metodología empleada, los resultados obtenidos y las conclusiones de cada estudio, con el objetivo de determinar su relevancia y contribución al conocimiento actual sobre la economía circular en la industria envasadora de café.

Además, se llevó a cabo una extracción meticulosa de datos de los estudios finales seleccionados, enfocándose en los modelos de economía circular implementados, los resultados logrados y las recomendaciones sugeridas. Este proceso de extracción garantizó la inclusión en el análisis solo de la información más precisa y relevante, lo que permitió una síntesis detallada y bien fundamentada de la aplicación de la economía circular en la industria envasadora de café, iluminando tanto las tendencias actuales como las oportunidades de investigación futura.

Los estudios seleccionados fueron categorizados y analizados mediante una síntesis narrativa, identificando patrones en barreras, estrategias y beneficios de la economía circular en la industria envasadora de café.

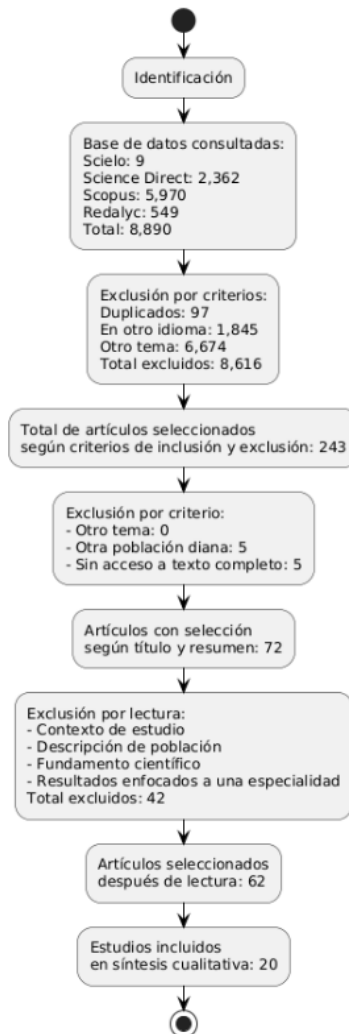


Figura 1: Flujograma del proceso aplicado.
Fuente: Elaboración propia.

III. RESULTADOS, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

Fundamentación teórica de la economía circular y su contextualización en la industria del café

La economía circular (EC) se ha convertido en un paradigma crucial para enfrentar los desafíos ambientales y económicos actuales. Este modelo promueve la maximización del uso de los recursos, la reducción de desechos y la sostenibilidad en los procesos de producción y consumo. En el contexto de la industria envasadora de café, la EC ofrece una oportunidad significativa para transformar las prácticas actuales y avanzar hacia un futuro más sostenible.

En primer lugar, el estudio de van Keulen y Kirchherr [9] identifica varias barreras y habilitadores claves para la implementación de la economía circular en la cadena de valor del café. Una de las principales barreras es la falta de coherencia en las políticas gubernamentales, lo que puede generar confusión y falta de dirección para las empresas que desean adoptar prácticas circulares. Además, la estandarización del diseño circular es otro desafío significativo, ya que requiere un cambio cultural y técnico en la forma en que se diseñan y fabrican los productos. Por otro lado, los habilitadores incluyen la conciencia y visión comunes entre los actores de la cadena de valor, así como la solidez de los modelos de negocio circulares. La colaboración entre empresas, gobiernos y organizaciones no gubernamentales es esencial para superar las barreras y fomentar un entorno propicio para la economía circular. Este enfoque colaborativo permite compartir conocimientos, recursos y experiencias, lo que puede acelerar la transición hacia prácticas más sostenibles.

Conviene subrayar que Šverko et al., [38] analizan cómo la economía circular puede garantizar el crecimiento económico y la protección ambiental en los países de la Unión Europea. La UE ha adoptado políticas y estrategias específicas para promover la economía circular,

reconociendo su potencial para crear empleo, fomentar la innovación y reducir la dependencia de los recursos naturales. Estos esfuerzos han resultado en una mayor integración de prácticas circulares en diversas industrias, incluyendo la industria del café. El análisis de estos autores destaca la importancia de un enfoque integral que combine regulaciones claras, incentivos económicos y educación para fomentar la adopción de la economía circular. La implementación exitosa de la economía circular en la UE puede servir como modelo para otros países y regiones, demostrando los beneficios económicos y ambientales de este enfoque.

Asimismo, el artículo de Avraamidou et al. [39] resalta los desafíos y oportunidades que enfrenta la ingeniería de sistemas de procesos en la transición hacia una economía circular. En el caso específico de la cadena de suministro del café, la optimización de los procesos puede jugar un papel crucial en la reducción de desechos y la mejora de la eficiencia. La ingeniería de sistemas permite analizar y optimizar los flujos de materiales y energía, identificando áreas donde se pueden implementar prácticas circulares de manera efectiva. Los autores sugieren que la integración de la economía circular en la ingeniería de sistemas de procesos requiere un cambio de paradigma, donde se prioricen los enfoques sostenibles desde el diseño hasta la implementación. Esto incluye la adopción de tecnologías avanzadas y la colaboración interdisciplinaria para abordar los desafíos complejos asociados con la economía circular.

Es importante mencionar que Geissdoerfer et al. [40] proporcionan una revisión exhaustiva del estado del arte sobre modelos de negocio circulares y su innovación. La revisión destaca cómo los modelos de negocio circulares pueden transformar las industrias al fomentar prácticas sostenibles que no solo reducen los desechos, sino que también crean valor económico. En la industria del café, esto puede incluir estrategias como la reutilización de subproductos, el diseño de envases reutilizables y la implementación de sistemas de devolución y reciclaje. La innovación en modelos de negocio circulares también implica un enfoque en la creación de valor compartido, donde las empresas colaboran con sus clientes, proveedores y otras partes interesadas para desarrollar soluciones sostenibles. Esta colaboración puede conducir a nuevas oportunidades de negocio y ventajas competitivas, al tiempo que contribuye a la sostenibilidad global.

Shetye [8] explora cómo el marketing puede ser una herramienta poderosa para identificar y aprovechar oportunidades de circularidad, influenciando el comportamiento del consumidor y apoyando la economía circular. El marketing puede educar a los consumidores sobre los beneficios de los productos circulares y fomentar hábitos de consumo sostenibles. En la industria del café, esto puede incluir campañas que promuevan el uso de envases reciclables, la compra de productos sostenibles y la participación en programas de devolución y reciclaje. El marketing también puede ayudar a las empresas a diferenciarse en un mercado competitivo, destacando su compromiso con la sostenibilidad y la economía circular. Al comunicar de manera efectiva los beneficios ambientales y sociales de sus productos y prácticas, las empresas pueden construir una base de clientes leales que valoren la sostenibilidad.

En este contexto, la economía circular en la industria del café se puede contextualizar a través de la implementación de prácticas que maximicen el valor de los recursos a lo largo de toda la cadena de suministro. Esto incluye desde la producción y procesamiento del café hasta su envasado y distribución. La adopción de principios de economía circular puede ayudar a reducir la huella ambiental de la industria, mejorar la eficiencia de los recursos y promover la sostenibilidad económica y social. La revisión de la literatura muestra que la transición hacia una economía circular en la industria del café requiere un enfoque holístico que integre aspectos técnicos, económicos y sociales. Las barreras identificadas, como la falta de coherencia en las políticas y la estandarización del diseño circular, deben abordarse a través de la colaboración y la innovación. Los habilitadores, como la conciencia común y la solidez de los modelos de negocio circulares, deben ser aprovechados para impulsar el cambio.

Sistematizar los procedimientos clave de la economía circular en la industria envasadora de café, destacando estrategias para la reducción de residuos, optimización de materiales y eficiencia productiva.

Para efectos de esta sección se resalta que los procedimientos clave de la economía circular tienen el objetivo de reducir la contaminación que produce el envase del mismo y ofrecer sostenibilidad, y es esencial apoyarse en los marcos y estudios existentes que han abordado esta temática. Baratsas, et al., [10] presentan un marco de ingeniería de sistemas específicamente para la optimización de cadenas de suministro alimentario, destacando la reutilización de productos y materiales. Este enfoque es crucial para la industria del café, ya que permite una evaluación integral y sistemática de los flujos de materiales, optimizando la eficiencia y minimizando los residuos.

Conviene subrayar que la propuesta de Baratsas et al. [10] para la modelización y optimización de cadenas de suministro bajo principios de economía circular en la cadena de suministro del café proporciona una base sólida para este proceso. La implementación de un sistema circular requiere no solo un rediseño de los procesos de producción y distribución, sino también la integración de prácticas que permitan la reutilización y reciclaje de materiales a lo largo de toda la cadena de valor. Esto implica una colaboración estrecha entre todos los actores involucrados, desde productores hasta consumidores, y la adopción de tecnologías avanzadas para el seguimiento y gestión de materiales.

Mura, et al., [41] miden el desempeño ambiental y económico de un modelo de negocio circular en la industria del vino, un estudio aplicable a la industria del café. La reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la disminución de costos económicos son aspectos clave que también se pueden alcanzar en la industria del café mediante la implementación de estrategias circulares. Este estudio demuestra que los modelos de negocio circulares no solo son viables desde una perspectiva ambiental, sino que también pueden ofrecer beneficios económicos significativos, lo que es esencial para la adopción generalizada de estas prácticas.

Además, Matrapazi y Zabaniotou [42] investigan la pirólisis de posos de café como una solución innovadora de economía circular, proporcionando beneficios económicos, ambientales y sociales. La pirólisis de los residuos de café no solo ayuda a reducir la cantidad de desechos que van a los vertederos, sino que también puede generar productos de valor agregado, como biochar y bioaceites, que pueden ser utilizados en diversas aplicaciones industriales. Este enfoque innovador destaca la importancia de considerar todas las etapas del ciclo de vida de los productos de café, desde la producción hasta la disposición final, y cómo cada etapa puede ser optimizada para maximizar los beneficios circulares.

Karayılan, Yılmaz, Uysal y Naneci [43] evalúan el impacto de tres modelos de economía circular en la cadena de valor del envasado de plástico, aplicando estrategias para mejorar la eficiencia del reciclaje. Estos modelos son directamente aplicables a la industria del café, donde el envasado representa una fuente significativa de residuos. La implementación de estrategias de reciclaje eficiente y el desarrollo de envases

reutilizables o biodegradables pueden reducir drásticamente la contaminación y los costos asociados con la gestión de residuos. Este estudio resalta la necesidad de una evaluación continua y la optimización de los ciclos de vida de los envases para asegurar su sostenibilidad.

Asimismo, Urbinati, et al., [44] analizan modelos de negocio circulares en la industria manufacturera europea, destacando prácticas gerenciales que apoyan el diseño de estos modelos. La adopción de prácticas gerenciales que fomenten la economía circular, como la gestión de residuos y la eficiencia de recursos, es esencial para el éxito de un sistema circular en la industria del café. Este enfoque gerencial incluye la formación y sensibilización de los empleados, la implementación de políticas corporativas sostenibles y la promoción de la colaboración entre diferentes departamentos y socios comerciales.

Es crucial adoptar un enfoque holístico que combine estos diversos aspectos para diseñar un modelo de sistema circular efectivo para la industria envasadora de café. Esto implica no solo la implementación de tecnologías y prácticas específicas, sino también la creación de un entorno propicio que apoye la innovación y la colaboración. Las políticas gubernamentales coherentes, los incentivos económicos y la educación de los consumidores y productores son elementos fundamentales que deben integrarse en este enfoque.

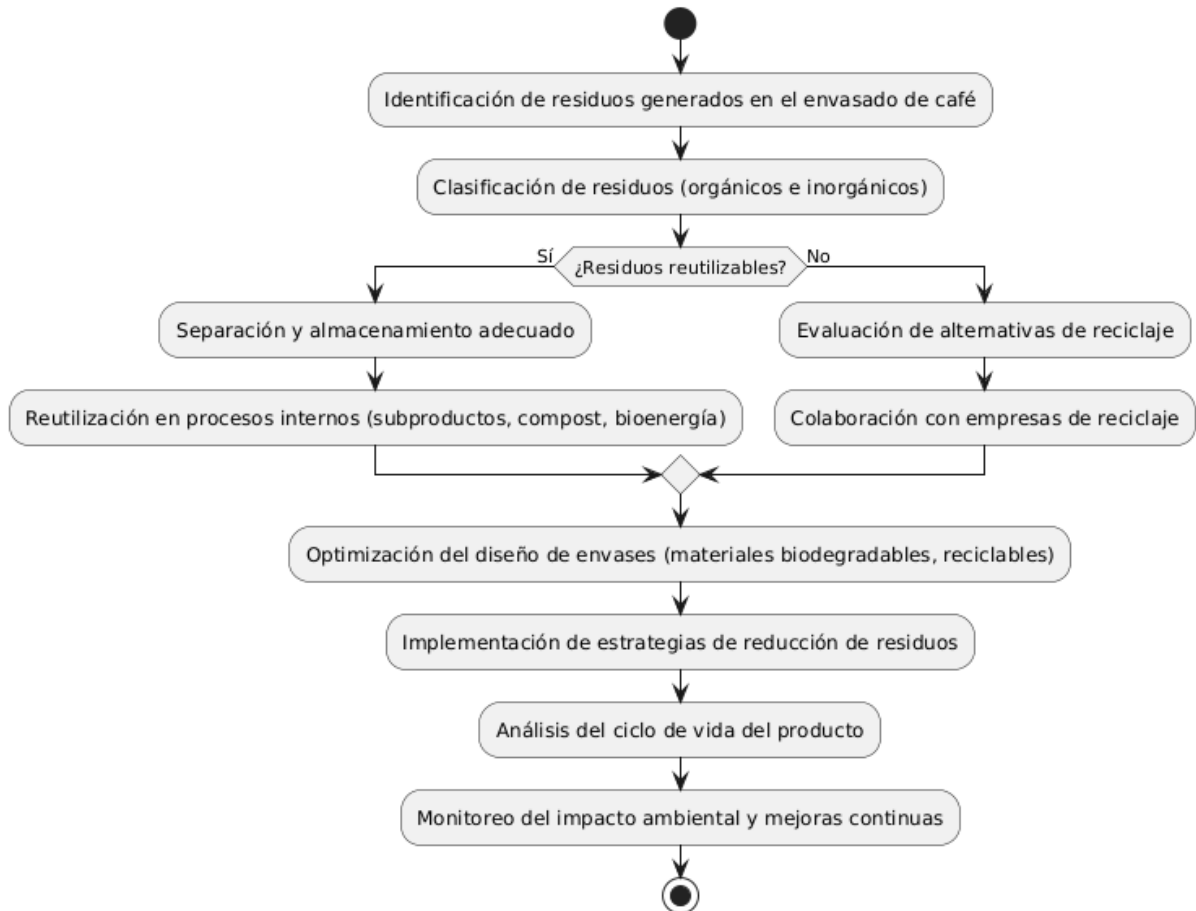


Figura 2: Procedimiento para el diseño de un modelo de un sistema circular en la industria del café.
Fuente: Elaboración propia.

A partir de la representación de la figura 2, la sistematización del procedimiento para el diseño de un modelo de sistema circular en la industria del café debe incluir la identificación y análisis de todas las etapas de la cadena de valor, la evaluación de las tecnologías disponibles para la reutilización y reciclaje de materiales, y la implementación de prácticas gerenciales que fomenten la sostenibilidad. Este proceso debe ser dinámico y adaptable, permitiendo ajustes continuos en función de los avances tecnológicos y cambios en las condiciones del mercado.

Modelos de sistemas circulares en la industria del café, para reducir la contaminación que produce el envase del mismo y ofrecer sostenibilidad

La implementación de modelos de sistemas circulares en la industria del café no solo reduce la contaminación asociada con los envases, sino que también promueve la sostenibilidad en diversos aspectos. Lagrasta, Pontrandolfo y Scozzi [45] presentan un caso práctico sobre modelos de negocio circulares en la cadena de suministro del café en Tanzania, subrayando la importancia de la recuperación de subproductos. Este enfoque no solo aborda la sostenibilidad ambiental, sino que también genera beneficios económicos y sociales, haciendo del modelo una solución holística para la industria.

Conviene subrayar que Oliveira et al. [46] destacan el potencial de los subproductos del café para desarrollar materiales de envasado activo, un paso crucial hacia una economía circular. Estos subproductos pueden ser valorizados, transformándolos en recursos útiles y reduciendo así la dependencia de materiales vírgenes. La utilización de estos residuos en la fabricación de envases contribuye significativamente a la sostenibilidad ambiental y ofrece una alternativa viable y sostenible a los materiales de embalaje tradicionales.

Además, Krisnamurti et al. [47] revisan diferentes modelos de economía circular en sistemas industriales, enfocándose en métodos de reciclaje para películas plásticas. Este estudio es particularmente relevante para la industria del café, donde los envases plásticos representan una gran parte del problema de contaminación. La adopción de tecnologías de reciclaje avanzado y el diseño de envases reutilizables pueden reducir considerablemente el impacto ambiental, al tiempo que se mejora la eficiencia de los recursos en toda la cadena de valor.

Por otro lado, Sopolana et al. [48] proporcionan un marco de referencia para la innovación de modelos de negocio circulares en la industria del papel y pulpa, el cual puede ser adaptado a la industria del café. Este marco incluye análisis empíricos y observaciones industriales que pueden guiar el desarrollo de prácticas sostenibles en el envasado del café. La recuperación y reutilización de recursos son pilares fundamentales en la transición hacia un modelo de economía circular, y su aplicación puede llevar a una reducción significativa de residuos y una mayor eficiencia en el uso de materiales.

Cabe destacar que Sisti et al. [49] analizan el potencial de los residuos del café como fuente valiosa para la producción sostenible de químicos, materiales y combustibles. La pirólisis de posos de café, por ejemplo, puede generar productos de alto valor añadido, como biochar y bioaceites, que pueden ser utilizados en diversas aplicaciones industriales. Este enfoque no solo reduce los residuos, sino que también crea nuevas oportunidades económicas, fomentando la innovación y el desarrollo sostenible en la industria del café.

En este contexto, Hamam et al. [50] revisan la literatura sobre la economía circular en sistemas agroalimentarios, destacando la necesidad de modelos de producción más limpios. La implementación de prácticas sostenibles en la producción de café es crucial para minimizar el impacto ambiental y garantizar la responsabilidad de los actores involucrados. Las políticas gubernamentales y la colaboración entre diferentes partes interesadas juegan un papel fundamental en la promoción de estos modelos sostenibles.

Asimismo, Bening, Pruess y Blum [51] exploran las barreras regulatorias y las soluciones para el reciclaje de envases flexibles. La interrelación entre barreras económicas, técnicas y regulatorias es un desafío significativo que debe ser abordado para la efectiva implementación de la economía circular en la industria del café. El desarrollo de políticas coherentes y el apoyo a la innovación tecnológica son esenciales para superar estos obstáculos y avanzar hacia un sistema de reciclaje eficiente.

Conviene resaltar que Mayson y Williams [52] desarrollan una propuesta experimental de gestión de energía y residuos para reutilizar los posos de café en la fase de tostado. Este enfoque promueve un sistema de economía circular al valorizar los residuos generados durante el proceso de producción. La reutilización de estos residuos no solo reduce la cantidad de desechos, sino que también puede contribuir a la eficiencia energética y la sostenibilidad económica.

Kulkarni y Pathak [53] exploran cómo las tecnologías de la Industria 4.0 pueden apoyar la economía circular, utilizando el método TOPSIS para evaluar y priorizar soluciones. La integración de tecnologías avanzadas, como la inteligencia artificial y el internet de las cosas (IoT), puede optimizar los procesos de reciclaje y reutilización, mejorando la eficiencia y reduciendo el impacto ambiental de la industria del café. Estas tecnologías permiten un seguimiento y gestión precisos de los flujos de materiales, facilitando la implementación de modelos de negocio circulares.

Para cerrar esta sección, se seleccionaron cinco autores relevantes cuyos estudios aportan perspectivas fundamentales para el diseño de un modelo de economía circular en la industria envasadora de café. Estos autores abordan desde enfoques estratégicos y de gestión hasta innovaciones tecnológicas y metodológicas, destacando elementos clave como la implementación de modelos de negocio sólidos, la valorización de residuos mediante tecnologías avanzadas, la optimización de cadenas de suministro y la evaluación de la circularidad a través de indicadores específicos. Cada uno de ellos contribuye con propuestas complementarias que, al integrarse, ofrecen un marco robusto y adaptativo para enfrentar las barreras y aprovechar las oportunidades asociadas a la transición hacia la circularidad en esta industria, guiando así la estructuración del modelo propuesto.

Tabla 1: Comparativa de modelos y estrategias de economía circular.

Autor(es)	Propuesta	Estrategia	Barreras Identificadas	Aplicabilidad al Diseño Circular
Van Keulen y Kirchherr (2020) [9]	Caso de estudio en la cadena de valor del café para minimizar residuos y equilibrar sostenibilidad.	Modelos de negocio sólidos y comunicación basada en hechos específicos.	Falta de coherencia en políticas gubernamentales y percepciones erróneas.	Proveer bases para modelos sólidos y estrategias de comunicación efectivas.
Matrapazi y Zabaniotou (2020) [42]	Conversión de residuos de café en energía y materiales mediante pirólisis lenta.	Recuperación de recursos y retorno positivo de inversión en pirólisis a gran escala.	Costos iniciales de implementación y escalabilidad.	Integrar tecnologías de valorización de residuos para sostenibilidad.
Cortez-Sánchez (2024) [54]	Modelo de economía circular en cafeterías, promoviendo reciclaje y cooperación regional.	Cultura de sostenibilidad y sinergia entre negocios locales.	Falta de cohesión entre actores locales y falta de incentivos económicos.	Implementación regional y fortalecimiento de redes de cooperación.
Baratsas et al. (2021) [10]	Marco de ingeniería para optimizar cadenas de suministro bajo economía circular.	Programación matemática para manejo de desechos y eficiencia energética.	Complejidad técnica y necesidad de datos robustos.	Optimización sistemática de cadenas de suministro y eficiencia energética.
Rossi et al. (2020) [55]	Indicadores multidimensionales para medir circularidad en empresas.	Evaluación de sostenibilidad basada en métricas específicas.	Complejidad en la recopilación y análisis de datos.	Medición del impacto circular en el diseño del modelo propuesto.

Fuente: Elaboración propia.

La revisión de los autores seleccionados resalta elementos innovadores clave que fortalecen la comprensión y diseño de un modelo de economía circular adaptado a la industria envasadora de café. Cada enfoque ofrece perspectivas complementarias que abordan tanto las barreras como las oportunidades inherentes a la transición hacia una economía circular. Sin embargo, al integrarlos, es posible identificar un enfoque predominante que se considera el más adaptable y relevante para alcanzar los objetivos de sostenibilidad, minimización de residuos y eficiencia económica en este sector.

Van Keulen y Kirchherr [56] presentan un caso práctico en la cadena de valor del café que enfatiza la importancia de modelos de negocio sólidos y estrategias de comunicación fundamentadas en hechos para superar percepciones erróneas de la economía lineal. Este enfoque integra tres dimensiones de sostenibilidad: ecológica, social y financiera, lo que lo convierte en un pilar fundamental para cualquier propuesta circular. Además, los autores subrayan cómo las políticas gubernamentales inconsistentes dificultan la implementación de prácticas sostenibles, una barrera recurrente en la mayoría de los estudios analizados. Aunque sus propuestas no se centran directamente en tecnologías específicas, su insistencia en la cohesión política y la claridad conceptual resulta esencial para garantizar la viabilidad a largo plazo de cualquier modelo.

Por su parte, Matrapazi y Zabaniotou [42] ofrecen un enfoque técnico altamente innovador que aborda la valorización de los residuos mediante la pirólisis lenta. Este proceso convierte desechos de café en energía y materiales reutilizables, generando un retorno económico positivo incluso a gran escala. La implementación de esta tecnología podría transformar el tratamiento de residuos en la industria envasadora, reduciendo significativamente su impacto ambiental. No obstante, su principal limitación radica en los elevados costos iniciales de instalación y la necesidad de una infraestructura avanzada, lo que podría restringir su adopción en regiones con recursos limitados. A pesar de ello, el potencial de este modelo para generar valor añadido y su alineación con principios de economía circular lo posicionan como un componente clave en el diseño propuesto.

Desde una perspectiva más local, Cortez-Sánchez [54] introduce un modelo aplicado en cafeterías y bares de café, promoviendo la cooperación entre negocios para fomentar una cultura de sostenibilidad y maximizar los impactos positivos en toda la cadena de valor. Este enfoque destaca la importancia de las sinergias regionales y del reciclaje como elementos transformadores. Aunque su alcance es más limitado en comparación con las otras propuestas, su énfasis en la colaboración local y la adaptabilidad al contexto socioeconómico lo convierten en un ejemplo relevante para iniciativas comunitarias. Sin embargo, su aplicabilidad en una industria de mayor escala, como la envasadora de café, requiere ajustes para garantizar que los principios circulares se traduzcan en resultados tangibles a nivel macro.

El marco de ingeniería propuesto por Baratsas, Pistikopoulos y Avraamidou [10] es particularmente destacado por su capacidad para optimizar las cadenas de suministro bajo principios de economía circular. Utilizando programación matemática, los autores demuestran cómo explorar escenarios alternativos puede mejorar el manejo de desechos y la eficiencia energética, dos aspectos críticos en la transición hacia un modelo sostenible. Este enfoque técnico y sistemático proporciona herramientas prácticas para diseñar cadenas de suministro más resilientes y sostenibles, ofreciendo soluciones escalables para abordar los desafíos de la industria envasadora. Sin embargo, su implementación depende de datos precisos y acceso a tecnología avanzada, lo que puede representar una barrera en ciertas regiones.

Finalmente, Rossi et al. [55] proponen un conjunto de indicadores multidimensionales para evaluar la circularidad en diferentes sectores industriales, un enfoque que, aunque no está diseñado específicamente para el café, resulta altamente adaptable a esta industria. Estos indicadores permiten medir y monitorear el impacto de los modelos circulares, ofreciendo una base sólida para ajustes continuos y mejoras. La capacidad de evaluar la sostenibilidad a través de métricas específicas es crucial para garantizar que los principios de economía circular se mantengan relevantes y efectivos a lo largo del tiempo. Sin embargo, la recopilación de datos puede ser compleja y requerir recursos significativos, lo que limita su aplicación inmediata en ciertos contextos.

Al integrar estas perspectivas, el enfoque de Van Keulen y Kirchherr [56] emerge como el más adaptable y relevante para el diseño de un modelo circular en la industria envasadora de café. Su énfasis en modelos de negocio sólidos y la superación de barreras políticas y sociales proporciona una base estratégica esencial para la implementación de cualquier propuesta circular. Además, sus principios pueden integrarse con elementos técnicos innovadores, como la valorización de residuos mediante pirólisis y la optimización de cadenas de suministro, para crear un modelo holístico que abarque tanto aspectos técnicos como sociales y económicos. Este enfoque integrador permite abordar las barreras estructurales mientras se maximizan los impactos positivos de las prácticas circulares.

La combinación de comunicación efectiva, diseño estratégico y tecnología avanzada ofrece una hoja de ruta clara para la implementación exitosa de un modelo circular en la industria envasadora de café. Si bien elementos como la pirólisis y los indicadores multidimensionales pueden complementar esta propuesta, su adopción debe alinearse con las capacidades y recursos disponibles en cada contexto específico. En última instancia, el éxito de un modelo de economía circular depende no solo de su diseño técnico, sino también de su capacidad para adaptarse a las realidades políticas, sociales y económicas de la región donde se implemente.

Este análisis destaca cómo las propuestas revisadas convergen hacia la necesidad de un enfoque integral que combine innovación tecnológica, diseño estratégico y sostenibilidad multidimensional. La relevancia de las perspectivas de Van Keulen y Kirchherr [56] se encuentra en su capacidad para articular estas dimensiones, proporcionando una base sólida para guiar el diseño de un modelo circular adaptado a la industria envasadora de café. Al integrar estas ideas con elementos técnicos y regionales de los otros autores, el modelo resultante no solo será sostenible y eficiente, sino también adaptable a las necesidades y desafíos específicos de esta industria.

Discusión

Al comparar las barreras y habilitadores identificados por Van Keulen y Kirchherr [56] con las estrategias prácticas propuestas por otros autores, se obtiene una visión más completa y matizada del estado actual y de las oportunidades futuras para la economía circular en la industria cafetera; en este sentido, los primeros destacan que la falta de coherencia en las políticas gubernamentales y la ausencia de estandarización en el diseño circular constituyen obstáculos clave, mientras que Lagrasta et al. [11] analizan un caso en Tanzania donde la recuperación de subproductos se presenta como una estrategia viable para la sostenibilidad ambiental y económica, lo que muestra que la transición hacia un modelo circular no depende únicamente de marcos regulatorios sólidos, sino también de iniciativas prácticas de reutilización de recursos adaptadas a contextos productivos diversos.

Conviene señalar que Lagrasta et al. [11] insisten en que la sostenibilidad ambiental, social y económica se consolida a partir de prácticas concretas en la gestión de subproductos; esta perspectiva se diferencia de la de Van Keulen y Kirchherr [56], que ponen el énfasis en la claridad regulatoria, sin embargo, ambas visiones convergen al evidenciar que el éxito de la economía circular depende de la articulación entre normativas coherentes y acciones empresariales aplicables. A esta discusión se suma Baratsas et al. [10], quienes proponen un marco de ingeniería de sistemas orientado a la optimización de cadenas de suministro alimentario mediante la reutilización de productos y materiales; este

planteamiento técnico complementa las observaciones de Van Keulen y Kirchherr [9] al ofrecer herramientas de modelización que permiten superar la falta de estandarización y, a la vez, se vincula con las propuestas de Lagrasta al mostrar cómo la teoría puede convertirse en prácticas medibles y eficientes.

En esta misma línea, Mura et al. [41] evalúan el desempeño ambiental y económico de un modelo circular en la industria del vino, aplicable a la del café, demostrando que este tipo de esquemas reducen emisiones de gases de efecto invernadero y costos productivos; la comparación con los hallazgos de Matrapazi y Zabaniotou [42], quienes investigan la pirólisis de posos de café como alternativa de valorización, refuerza la idea de que distintas rutas tecnológicas pueden converger en un mismo objetivo de reducción de residuos y generación de valor. Por su parte, Karayilan et al. [43] enfatizan la optimización del ciclo de vida de los envases plásticos en la cadena del café, destacando que la eficiencia en el reciclaje requiere mejoras tanto técnicas como económicas; esta conclusión se alinea con Bening et al. [51], que analizan el reciclaje de envases flexibles y resaltan la necesidad de abordar simultáneamente las limitaciones financieras, regulatorias y operativas para lograr una implementación efectiva de la economía circular.

De manera complementaria, Urbinati et al. [44] subrayan la importancia de prácticas gerenciales que respalden el diseño de modelos de negocio circulares, lo que se articula con las observaciones técnicas de Baratsas et al., en tanto demuestra que la combinación de decisiones de gestión efectivas con soluciones tecnológicas avanzadas es indispensable para la transición; en esta misma línea, Oliveira et al. [46] destacan el potencial de los subproductos del café para desarrollar materiales de envasado activo, lo que fortalece la valorización de residuos y abre oportunidades de diversificación en la industria.

En este marco, Hamam et al. [50] sintetizan la literatura sobre economía circular en sistemas agroalimentarios y enfatizan la necesidad de modelos de producción más limpios y eficientes, así como la corresponsabilidad de los actores involucrados; esta revisión reafirma la importancia de la cooperación entre distintos niveles de la cadena de valor y de la implementación de mecanismos que permitan distribuir responsabilidades de manera equilibrada.

Finalmente, Mayson y Williams [52] proponen soluciones experimentales para la gestión de energía y residuos a partir de los posos de café, mientras que Kulkarni y Pathak [53] analizan cómo las tecnologías de la Industria 4.0 pueden potenciar los procesos de reciclaje y reutilización; estas aproximaciones tecnológicas representan alternativas innovadoras que no solo responden a las barreras señaladas por Van Keulen y Kirchherr [56], sino que además complementan las estrategias prácticas y gerenciales planteadas por los demás autores, confirmando que la transición hacia una economía circular en la industria cafetera requiere simultáneamente de regulaciones claras, herramientas de optimización, innovación tecnológica y gestión empresarial coherente.

IV. CONCLUSIONES

La revisión realizada confirma que la economía circular aplicada a la industria del café constituye un modelo viable y transformador para reducir el impacto ambiental y optimizar el uso de recursos. Los hallazgos destacan que la superación de barreras regulatorias y la incorporación de marcos de ingeniería de sistemas son condiciones indispensables para garantizar una transición efectiva hacia procesos productivos sostenibles.

Se identifica que las estrategias más relevantes son la valorización de subproductos, la adopción de tecnologías de reciclaje avanzadas, el desarrollo de envases activos y la integración de la Industria 4.0, ya que todas ellas contribuyen simultáneamente a la reducción de residuos, a la mejora de la eficiencia energética y a la consolidación de un sector cafetero competitivo y responsable.

Como aportes prácticos, se propone un esquema de implementación que contempla: (i) la sistematización de procedimientos de reutilización de subproductos como la pirólisis, (ii) la incorporación gradual de procesos de digitalización y control automatizado en la cadena de suministro, y (iii) la coordinación entre actores públicos, privados y comunitarios para reducir las limitaciones detectadas en la literatura.

Finalmente, se recomienda que futuras investigaciones prioricen estudios empíricos que midan el desempeño real de estas estrategias en distintos contextos productivos, de modo que se fortalezca la base de evidencia y se ajusten las propuestas a las necesidades específicas de cada escenario. Con ello, este trabajo ofrece un marco de referencia inicial y recomendaciones prácticas que orientan tanto la academia como la gestión empresarial hacia una economía circular más eficiente en la industria del café.

V. REFERENCIAS

- [1] P. A. Munoz-Briones, A. C. Munguía-López, K. L. Sánchez-Rivera, V. M. Zavala, G. W. Huber, and S. Avraamidou, "Optimal design of food packaging considering waste management technologies to achieve circular economy," *Syst. Control Trans.*, 2024, doi: [10.69997/sct.154335](https://doi.org/10.69997/sct.154335).
- [2] A. I. Petaloti and D. Achilias, "The development of sustainable biocomposite materials based on poly(lactic acid) and silverskin, a coffee industry by-product, for food packaging applications," *Sustainability*, 2024, doi: [10.3390/su16125075](https://doi.org/10.3390/su16125075).
- [3] P. Morone, D. D'Amato, N. Befort, and G. Yilan, *The Circular Bioeconomy*. Cambridge University Press, 2023. doi: [10.1017/9781009232586](https://doi.org/10.1017/9781009232586).
- [4] H. Zohourfazeli, A. Sabaghpourfard, A. Chaabane, and A. Jabbarzadeh, "Circular coffee shops' smart approach in Montreal," in 10th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT), 2024, pp. 2905–2910. doi: [10.1109/CoDIT62066.2024.10708617](https://doi.org/10.1109/CoDIT62066.2024.10708617).
- [5] K. A. Bimantara, S. Alauddin, N. Amalia, N. F. Widialip, N. Citrasari, and S. Hariyanto, "Circular economy of bio compost from coffee waste to support sustainable development goals in alleviating poverty in communities around the Sidoarjo coffee industry," in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021. doi: [10.1088/1755-1315/802/1/012016](https://doi.org/10.1088/1755-1315/802/1/012016).
- [6] O. Lingaitienė, A. Pažeraitė, and A. Burinskienė, "Integrating the circular business model into the packaging industry," *Energetika*, 2024, doi: [10.6001/energetika.2024.70.1.1](https://doi.org/10.6001/energetika.2024.70.1.1).

- [7] V. Kuzoma, "Monitoring the circularity of economic systems," *Actual Probl. Innov. Econ. Law*, 2023, doi: [10.36887/2524-0455-2023-5-19](https://doi.org/10.36887/2524-0455-2023-5-19).
- [8] M. P. Shetye, "Marketing Approaches for a Circular Economy," *MET Manag. Rev.*, 2023, doi: [10.34047/mmr.2020.10107](https://doi.org/10.34047/mmr.2020.10107).
- [9] M. van Keulen and J. Kirchherr, "The implementation of the Circular Economy: Barriers and enablers in the coffee value chain," *J. Clean. Prod.*, vol. 281, p. 125033, 2021, doi: [10.1016/j.jclepro.2020.125033](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125033).
- [10] S. G. Baratsas, E. N. Pistikopoulos, and S. Avraamidou, "A systems engineering framework for the optimization of food supply chains under circular economy considerations," *Sci. Total Environ.*, vol. 794, p. 148726, 2021, doi: [10.1016/j.scitotenv.2021.148726](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148726).
- [11] F. P. Lagrasta, P. Pontrandolfo, and B. Scozzi, "Circular economy business models for the Tanzanian coffee sector: A teaching case study," *Sustain.*, vol. 13, no. 24, 2021, doi: [10.3390/su132413931](https://doi.org/10.3390/su132413931).
- [12] N. Suchek, C. I. Fernandes, S. Kraus, M. Filser, and H. Sjögrén, "Innovation and the circular economy: A systematic literature review," *Bus. Strateg. Environ.*, vol. 30, no. 8, pp. 3686–3702, 2021, doi: [10.1002/bse.2834](https://doi.org/10.1002/bse.2834).
- [13] S. Avraamidou, S. G. Baratsas, Y. Tian, and E. N. Pistikopoulos, "Circular Economy - A challenge and an opportunity for Process Systems Engineering," *Comput. Chem. Eng.*, vol. 133, p. 106629, 2020, doi: [10.1016/j.compchemeng.2019.106629](https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2019.106629).
- [14] A. Bhandari, "Circular economy, building materials and methods," *Comf. Extrem. 2023 B. Proc.*, 2024, doi: [10.62744/cate.45273.1118-191-210](https://doi.org/10.62744/cate.45273.1118-191-210).
- [15] S. Franjić, "Circular economy and energy," *Contab. em Pauta*, 2024, doi: [10.55905/contabv7v1-001](https://doi.org/10.55905/contabv7v1-001).
- [16] E. D. Uršič, U. Fric, and B. Rončević, "The circular economy: Recent debates and research trends," *J. Infrastructure, Policy Dev.*, 2024, doi: [10.24294/jipd.v8i3.2855](https://doi.org/10.24294/jipd.v8i3.2855).
- [17] M. Gureva and Y. S. Deviatkova, "Formation of the concept of a circular economy," *Rev. Bras. Gestão e Inovação*, vol. 15, no. 2, pp. 156–169, 2020, doi: [10.20985/1980-5160.2020.v15n2.1656](https://doi.org/10.20985/1980-5160.2020.v15n2.1656).
- [18] L. Tabatadze, "Circular economy, problems and challenges," *New Econ.*, 2022, doi: [10.36962/nec62-6303-042021-16](https://doi.org/10.36962/nec62-6303-042021-16).
- [19] S. Jakobsen, T. Lauvås, F. Quatraro, E. Rasmussen, and M. Steinmo, "Innovation for a circular economy," *SSRN Electron. J.*, 2021, doi: [10.2139/ssrn.3857012](https://doi.org/10.2139/ssrn.3857012).
- [20] L. Bugaian and C. Diaconu, "Circular economy: Concepts and principles," 2020.
- [21] G. Ferro, "Understanding the circular economy: Overview of the issues," 2021. doi: [10.2139/ssrn.3933974](https://doi.org/10.2139/ssrn.3933974).
- [22] V. Shebanin and G. Reshetilov, "Circular economy of the region: Theoretical aspect," *Ukr. Black Sea Reg. Agrar. Sci.*, 2021, doi: [10.31521/2313-092x/2021-4\(112\)-1](https://doi.org/10.31521/2313-092x/2021-4(112)-1).
- [23] N. Dongez, K. Manisa, and S. Basdogan, "Tendency to circular economy," *Enq. ARCC J. Archit. Res.*, vol. 18, no. 2, 2021, doi: [10.17831/enqarcc.v18i2.1089](https://doi.org/10.17831/enqarcc.v18i2.1089).
- [24] P. Morsetto, "Restorative and regenerative: Exploring the concepts in the circular economy," *J. Ind. Ecol.*, vol. 24, pp. 763–773, 2020, doi: [10.1111/jiec.12987](https://doi.org/10.1111/jiec.12987).
- [25] D. Fullerton, "The circular economy," *SSRN Electron. J.*, 2024, doi: [10.3386/w32419](https://doi.org/10.3386/w32419).
- [26] A. Faleh, *Scénarios Économiques et Techniques D'Allocation D'Actifs*. 49, rue Héricart, 75015 Paris: Economica, 2012.
- [27] N. Avramchikova, I. Rozhnov, T. Zelenskaya, O. Maslova, and V. Avramchikov, "Circular economy and 'green technologies,'" *E3S Web Conf.*, 2021, doi: [10.1051/e3sconf/202129102014](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202129102014).
- [28] Y. Maksymiv, V. Yakubiv, I. Hryhoruk, and V. Kravtsiv, "Development of circular economy concept: Historical background," *J. Vasyl Stefanyk Precarpathian Natl. Univ.*, 2021, doi: [10.15330/jpnu.8.3.120-129](https://doi.org/10.15330/jpnu.8.3.120-129).
- [29] K. Webster, "A circular economy is about the economy," *Circ. Econ. Sustain.*, vol. 1, pp. 115–126, 2021, doi: [10.1007/s43615-021-00034-z](https://doi.org/10.1007/s43615-021-00034-z).
- [30] B. Rajković, D. Popović-Minić, D. Milinčić, and M. Zdravković, "Circular economy in the food industry," *Zast. Mater.*, vol. 61, pp. 229–250, 2020, doi: [10.5937/zasmat2003229r6](https://doi.org/10.5937/zasmat2003229r6).
- [31] R. Chobanova, "Circular economy as a new stage of economic development," *Circ. Econ. - Recent Adv. New Perspect. Appl.*, 2020, doi: [10.5772/intechopen.94403](https://doi.org/10.5772/intechopen.94403).
- [32] L. S. Muchangos, "Mapping the circular economy concept and the global south," *Circ. Econ. Sustain.*, vol. 2, pp. 71–90, 2021, doi: [10.1007/s43615-021-00095-0](https://doi.org/10.1007/s43615-021-00095-0).
- [33] S. Voitko, T. Sakalosh, and T. Mazanko, "Circular economy represented in selected global economy indices," *Innov. Sustain.*, 2022, doi: [10.31649/ins.2023.2.90.96](https://doi.org/10.31649/ins.2023.2.90.96).
- [34] W. L. Molina and H. Reyes Pineda, "Análisis de las estrategias de producción de café sostenible para el fortalecimiento del empalme generacional en el municipio de Aguadas (Caldas)," *Entre Cienc. e Ing.*, 2024, doi: [10.31908/19098367.2900](https://doi.org/10.31908/19098367.2900).
- [35] R. Ortiz Ayala, G. Lara Gómez, J. Hurtado Maldonado, and V. Hubenova Nencheva, "Pizpireto Café: Sustainable entrepreneurship in times of crisis," *Arch. Bus. Res.*, 2023, doi: [10.14738/abr.115.14791](https://doi.org/10.14738/abr.115.14791).
- [36] A. I. Arroyo Marlés, "Insectos comestibles como modelo de negocio sostenible," *UVserva*, 2024, doi: [10.25009/uvs.vi16.2937](https://doi.org/10.25009/uvs.vi16.2937).
- [37] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado, and L. Pilar Baptista, *Metodología de la Investigación*, 6ta ed. McGraw-Hill Education, 2014.
- [38] Z. Šverko Grdić, M. Krstinić Nižić, and E. Rudan, "Circular Economy Concept in the Context of Economic Development in EU Countries," *Sustainability*, 2020, doi: [10.3390/su12073060](https://doi.org/10.3390/su12073060).
- [39] S. G. Baratsas, E. N. Pistikopoulos, and S. Avraamidou, "A systems engineering framework for the optimization of food supply chains under circular economy considerations," *Sci. Total Environ.*, vol. 794, p. 148726, 2021, doi: [10.1016/j.scitotenv.2021.148726](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148726).
- [40] M. Geissdoerfer, M. Pieroni, D. Pigosso, and K. Soufani, "Circular Business Models: A Review," *SRPN Soc. Econ.*, 2020, doi: [10.1016/j.jclepro.2020.123741](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123741).
- [41] R. Mura, F. Vicentini, L. M. Botti, and M. V. Chiriaco, "Achieving the circular economy through environmental policies: Packaging strategies for more sustainable business models in the wine industry," *Bus. Strateg. Environ.*, 2023, doi: [10.1002/bse.3556](https://doi.org/10.1002/bse.3556).
- [42] V. K. Matrapazi and A. Zabaniotou, "Experimental and feasibility study of spent coffee grounds upscaling via pyrolysis towards proposing an eco-social innovation circular economy solution," *Sci. Total Environ.*, vol. 718, p. 137316, 2020, doi: [10.1016/j.scitotenv.2020.137316](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137316).
- [43] S. Karayılan, Ö. Yılmaz, Ç. Uysal, and S. Naneci, "Prospective evaluation of circular economy practices within plastic packaging value chain through optimization of life cycle impacts and circularity," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 173, p. 105691, 2021, doi: [10.1016/J.RESCONREC.2021.105691](https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2021.105691).
- [44] A. Urbinati, P. Rosa, C. Sassanelli, D. Chiaroni, and S. Terzi, "Circular business models in the European manufacturing industry: A multiple case study analysis," *J. Clean. Prod.*, 2020, doi: [10.1016/j.jclepro.2020.122964](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122964).

- [45] F. P. Lagrasta, P. Pontrandolfo, and B. Scozzi, "Circular economy business models for the Tanzanian coffee sector: A teaching case study," *Sustain.*, vol. 13, no. 24, 2021, doi: [10.3390/su132413931](https://doi.org/10.3390/su132413931).
- [46] G. Oliveira, C. P. Passos, P. Ferreira, M. Coimbra, and I. Gonçalves, "Coffee By-Products and Their Suitability for Developing Active Food Packaging Materials," *Foods*, vol. 10, 2021, doi: [10.3390/foods10030683](https://doi.org/10.3390/foods10030683).
- [47] B. Krisnamurti, M. Ayu, E. Hafizah, and A. Manaf, "Development and Prospects of Recycled Packaging in Circular Economy System: A Review," *NanoWorld J.*, 2023, doi: [10.17756/nwj.2023-118](https://doi.org/10.17756/nwj.2023-118).
- [48] A. Sopolana et al., "Innovative Circular Economy Models for the European Pulp and Paper Industry: A Reference Framework for a Resource Recovery Scenario," *Sustainability*, 2021, doi: [10.3390/su131810285](https://doi.org/10.3390/su131810285).
- [49] L. Sisti, A. Celli, G. Totaro, P. Cinelli, F. Signori, and A. Lazzeri, "Monomers, Materials and Energy from Coffee By-Products: A Review," *Sustainability*, 2021, doi: [10.3390/su13126921](https://doi.org/10.3390/su13126921).
- [50] M. Hamam et al., "Circular Economy Models in Agro-Food Systems: A Review," *Sustainability*, 2021, doi: [10.3390/SU13063453](https://doi.org/10.3390/SU13063453).
- [51] C. Bening, J. T. Pruess, and N. Blum, "Towards a circular plastics economy: Interacting barriers and contested solutions for flexible packaging recycling," *J. Clean. Prod.*, 2021, doi: [10.1016/J.JCLEPRO.2021.126966](https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.126966).
- [52] S. Mayson and I. Williams, "Applying a circular economy approach to valorize spent coffee grounds," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 172, p. 105659, 2021, doi: [10.1016/J.RESCONREC.2021.105659](https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2021.105659).
- [53] A. Kulkarni and R. K. Pathak, "Circular Economy Industry 4.0 Technologies Using TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution Method)," *JEMM*, vol. 9, no. 1, p. 2, 2023, doi: [10.46632/jemm/9/1/2](https://doi.org/10.46632/jemm/9/1/2).
- [54] R. Cortez-Sánchez, "Towards a strategic plan based on circular economy for coffee bars in the city of Tijuana, Mexico," *IEEE Technol. Eng. Manag. Soc. (TEMSCON LATAM)*, pp. 1–8, 2024, doi: [10.1109/TEMSCONLATAM61834.2024.10717735](https://doi.org/10.1109/TEMSCONLATAM61834.2024.10717735).
- [55] E. Rossi, A. C. Bertassini, C. dos S. Ferreira, W. Amaral, and A. R. Ometto, "Circular economy indicators for organizations considering sustainability and business models: Plastic, textile and electro-electronic cases," *J. Clean. Prod.*, vol. 247, p. 119137, 2020, doi: [10.1016/j.jclepro.2019.119137](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119137).
- [56] M. Van Keulen and J. Kirchherr, "The implementation of the Circular Economy: Barriers and enablers in the coffee value chain," *J. Clean. Prod.*, p. 125033, 2020, doi: [10.1016/j.jclepro.2020.125033](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125033).