

**HERRAMIENTA DE MEDICIÓN DE CIRCULARIDAD APLICADA A LA  
AGROINDUSTRIA PARA FORTALECER LA GESTIÓN SOSTENIBLE BAJO  
CRITERIOS ESG**

**CIRCULARITY MEASUREMENT TOOL APPLIED TO AGROINDUSTRY TO  
STRENGTHEN SUSTAINABLE MANAGEMENT UNDER ESG CRITERIA**

**KATERINE NARANJO SANTA Y CARLOS ANDRÉS OSORIO ARBOLEDA**

**ASESOR  
CAMILO POLANCO LOPEZ DE MESA**

**UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN  
MAESTRÍA EN SOSTENIBILIDAD  
MEDELLÍN**

**2025**

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	10
1. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....	11
1.1. ¿Qué es economía Circular? .....	11
1.2. Marcos y modelos de referencia de economía circular.....	14
1.3. Indicadores e índices de economía circular .....	18
1.4. Economía Circular a nivel mundial.....	26
1.5. Colombia en el marco de la economía circular. ....	27
1.6. Economía circular Agroindustria sector Caficultor .....	32
1.7. Economía circular agroindustria sector de la caña de azúcar.....	35
1.7.1. Circularidad existente en el sector.....	38
1.7.2. Retos de aprovechamiento en el sector.....	40
1.8 Reducción de Riesgos Asociados con los Pilares ESG.....	41
1.9 Estándares de economía circular .....	43
2. METODOLOGÍA.....	45
2.1 Caso de Estudio .....	47
2.2. Planteamiento del modelo.....	48
3. CONSIDERACIONES ÉTICAS.....	50
4. HALLAZGOS .....	51
5. CONCLUSIONES .....	56
6. CONTRIBUCIÓN A LOS ODS.....	57
7. IMPACTO DEL TRABAJO AL DESARROLLO SOSTENIBLE.....	58
8. BIOGRAFÍA DE LOS AUTORES Y DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO 60	
9. AGRADECIMIENTOS Y RECONOCIMIENTOS.....	62
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	63
11. APÉNDICES.....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>categorías de los enfoques de indicadores de evaluación</i> .....	22
Tabla 2. Categorías de indicadores para la medición de la economía circular .....	25
Tabla 3. Indicadores núcleo de circularidad según ISO 59020:2024. ....	26
Tabla 4. Doce estrategias, definiciones e implicaciones para las organizaciones.	32
Tabla 5. indicadores de riesgos complementarios .....	43

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Ilustración 1. Esquema del modelo de Economía Línea. Fuente: (Banco Santander).....	12
Ilustración 2. Modelo de economía circular (diagrama de la mariposa) .....	13
Ilustración 3. PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS CAÑA DE AZÚCAR. ....	37
Ilustración 4. Industria azucarera, un modelo circular. ....	38
Ilustración 5. Emisiones de GEI de diferentes combustibles y biocombustibles....	41
Ilustración 6. Serie de normas ISO 59000 sobre economía circular.....	44
Ilustración 7. Etapas de la metodología a desarrollar. Construcción propia.....	46
Ilustración 8. Pilares de indicadores a medir. Construcción propia. ....	49

## RESUMEN

La agroindustria enfrenta desafíos significativos derivados de su actividad económica y usos de los recursos disponibles sin medir su impacto esto está generando impactos negativos sobre el medio ambiente. Estos impactos negativos se agravan en el contexto de un modelo económico lineal tradicional que es basado en extraer, fabricar, usar y desechar, el cual resulta insostenible frente a las crecientes demandas globales y los límites de planetarios.

Considerando lo anterior, la economía circular se presenta como una alternativa sostenible frente al modelo económico lineal tradicional.

De acuerdo con el informe el *Circularity Gap Report 2024*, tan solo el 7,2 % de la economía mundial es circular, lo que evidencia un estancamiento en la transición hacia modelos sostenibles. Esta situación ha llevado a que seis de los nueve límites planetarios ya hayan sido sobrepasados lo que pone en riesgo la estabilidad del sistema terrestre (Circle Economy & Deloitte, 2024).

En nuestro contexto, en Colombia, como se explica en la *Guía Empresarial de Economía Circular* (Colombia Productiva, 2020), la agroindustria genera aproximadamente el 65 % de los residuos orgánicos, los cuales en su mayoría no son aprovechados. Esta cifra evidencia una oportunidad significativa para incorporar estrategias de economía circular en nuestro país que permitan uso eficiente de los recursos y el cierre de ciclos productivos, especialmente en sectores estratégicos como la agroindustria, que tiene un alto potencial de generación de valor ambiental, social y económico.

Ahora bien si miramos el contexto a nivel mundial la producción agrícola es el responsable del 30% del consumo total de energía y un 22% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero (Organización de Naciones Unidas [ONU], 2015), se puede afirmar que la agricultura es una de las actividades humanas de mayor impacto ambiental.

Para concluir, en este estudio se van proponer un banco de indicadores claves que permitan medir el nivel de circularidad, en concordancia con los estándares y metodologías reconocidas. Además, se consultarán reportes globales de riesgos con el propósito de identificar tendencias y riesgos emergentes, lo que permitirá comprender cómo se podría fortalecer la gestión de la circularidad en el sector agroindustria en Colombia. Esta comprensión contribuirá a potenciar la sostenibilidad del sector, aumentar su competitividad y facilitar una gestión más eficaz de los riesgos asociados a los pilares ESG (ambientales, sociales y de gobernanza).

### **ABSTRACT**

Agribusiness faces significant challenges stemming from its economic activity and its use of available resources without measuring their impact, which is generating negative impacts on the environment. These negative impacts are exacerbated in the context of a traditional linear economic model based on extracting, manufacturing, using, and disposing, which is unsustainable in the face of growing global demands and planetary boundaries.

Considering this, the circular economy presents itself as a sustainable alternative to the traditional linear economic model.

According to the Circularity Gap Report 2024, only 7.2% of the global economy is circular, which demonstrates a stagnation in the transition toward sustainable models. This situation has led to six of the nine planetary boundaries already being surpassed, putting the stability of the Earth's system at risk (Circle Economy & Deloitte, 2024).

In our context, in Colombia, as explained in the Circular Economy Business Guide (Colombia Productiva, 2020), agribusiness generates approximately 65% of organic waste, most of which is unused. This figure highlights a significant opportunity to incorporate circular economy strategies in our country that enable efficient use of resources and the closing of production cycles, especially in strategic sectors such

as agribusiness, which has high potential for generating environmental, social, and economic value.

Now, looking at the global context, agricultural production is responsible for 30% of total energy consumption and 22% of total greenhouse gas emissions (United Nations [UN], 2015). It can be stated that agriculture is one of the human activities with the greatest environmental impact.

In conclusion, this study will propose a set of key indicators to measure the level of circularity, in accordance with recognized standards and methodologies. In addition, global risk reports will be consulted to identify emerging trends and risks, which will provide insight into how circularity management could be strengthened in the Colombian agribusiness sector. This understanding will contribute to enhancing the sector's sustainability, increasing its competitiveness, and facilitating more effective management of risks associated with ESG (environmental, social, and governance) pillars.


## **PALABRAS CLAVE**


- Economía circular
- Ciclos técnicos y biológicos
- Ellen MacArthur Foundation
- Economía lineal
- Gestión responsable de recursos
- Cambio climático
- Transición energética
- Digestión anaeróbica
- Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC)
- Indicador de Circularidad de Materiales (MCI)
- Circularity Gap Report
- Análisis de flujo de materiales
- Estándar GRI
- Durabilidad del material
- Contenido reciclado
- Tasa de reciclaje
- Inventario de indicadores (OCDE)


## KEY WORDS


- Circular economy
- Technical and biological cycles
- Ellen MacArthur Foundation
- Linear economy
- Responsible resource management
- Climate change
- Energy transition
- Anaerobic digestion
- National Circular Economy Strategy (NCE)
- Circulytics
- Material Circularity Indicator (MCI)
- Circle Economy
- Circularity Gap Report
- Material flow analysis
- GRI Standard
- Material durability
- Recycled content
- Recycling rate
- Indicator inventory (OECD)


## MENSAJES DESTACADOS:

 La economía circular en la agricultura promueve el uso eficiente de recursos, reduciendo residuos y maximizando la producción sostenible. #EconomíaCircular #AgriculturaSostenible.

 Implementar prácticas de economía circular en la agricultura no solo protege el medio ambiente, sino que también mejora la rentabilidad. #Sostenibilidad #Agricultura

 Integrar los pilares ESG en la cadena de valor no solo mitiga riesgos, sino que también crea oportunidades para un crecimiento sostenible. #CrecimientoSostenible #ESG

 Adoptar la economía circular en la agricultura ayuda a mitigar el cambio climático y a conservar la biodiversidad. ¡Actuemos ahora! #CambioClimático #Sostenibilidad

 La innovación en la agricultura circular impulsa el uso de tecnologías limpias, optimizando el uso del agua y los nutrientes. #TecnologíaSostenible #AgriculturaCircular

## SIGLAS Y ACRÓNIMOS

**EC:** Economía circular

**ENEC :** Estrategia Nacional de Economía Circular

**MCI :** Material Circularity Indicator

**CEI :** Circular Economy Index

**CPI:** Circular Economy Performance Indicator

**PLCM :** product-Level Circularity Metric

**SCI :** Sustainable Circular Index

**ESG :** Económico, social y ambiental

**ONU:** Organización mundial de las naciones unidas

**MHCP:** Ministerio de Hacienda y Crédito Público

**SFC:** Superintendencia Financiera de Colombia

**MADS:** Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

**DNP:** Departamento Nacional de Planeación

**DANE:** Departamento Administrativo Nacional de Estadística

## DEDICATORIA

A Dios, a mis padres y mi hermano, y lo más hermoso que me ha dado, a mis sobrinos, porque saben lo importante que es para mí este gran capítulo académico. A mi novio, por la calma y acompañamiento en este camino, ha sido retador cada momento y has estado allí.

A Carlos, mi compañero, por la paciencia del día a día, por que tu comprensión y amistad han enriquecido mi vida profesional.

A cada uno de los profesores, compañeros de clase y amigos que han contribuido con su orientación y apoyo, gracias por ser parte de este resultado.

A la organización Ingenio Risaralda S.A, porque han creído en cada paso hacia la sostenibilidad de la agroindustria.

Con cariño e inmensa gratitud,

**Kate Naranjo.**

A mi madre y hermanas, raíces de mi fortaleza, por su apoyo incondicional que ha nutrido cada etapa de mi vida.

A mi pareja, por ser mi refugio de paciencia y motivación en este viaje académico.

A Katerine, mi compañera de grado, una mujer imparable que inspira con su determinación.

A mis profesores y a mi asesor, por sembrar en mí el conocimiento y compartir sus experiencias profesionales.

A mi empresa, por creer en este proyecto como un camino hacia un futuro más sostenible.

Este logro es fruto de una red de apoyo que, como la sostenibilidad, demuestra que juntos podemos construir algo extraordinario.

**Carlos Andrés Osorio Arboleda**

## INTRODUCCIÓN

El reconocimiento de los efectos ambientales causado de las actividades económicas a generado una mayor conciencia sobre la importancia de la sostenibilidad impulsando a que las organizaciones piensen en sus prácticas tradicionales y busquen la implementación modelos de producción más sostenibles, como lo son los principios de la economía circular.

En consecuencia, la Comisión Europea (2020) reconoce la economía circular como un eje fundamental para la transformación del modelo económico actual, mediante la implementación de iniciativas que abarcan todo el ciclo de vida de los productos. A través de su Plan de Acción para una Economía Circular, se busca reducir la presión sobre los recursos naturales, fomentar un crecimiento económico sostenible y promover la generación de empleo. Esta estrategia se centra especialmente en el diseño y la producción sostenibles, impulsando la creación de bienes duraderos, reparables, reutilizables y reciclables, con el objetivo de cerrar los ciclos de materiales y minimizar el impacto ambiental.

Por su parte, la Estrategia Nacional de Economía Circular de Colombia impulsa un cambio de paradigma resumido en la consigna «producir conservando y conservar produciendo», orientado a mejorar la eficiencia en el uso de materiales, agua y energía y a valorar la capacidad de recuperación de los ecosistemas (Comisión Europea, 2020; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019).

Asimismo, la fundación Ellen MacArthur (2015), basa la economía circular en tres principios: i) preservar y mejorar el capital natural, ii) optimizar el rendimiento de los recursos y iii) promover la eficacia de los sistemas, los cuales se articulan para orientar las actuaciones o prácticas de las organizaciones con el fin de alcanzar procesos más sostenibles.

Con este estudio, buscamos conocer ¿Cómo se puede fortalecer la gestión de la circularidad en el sector agroindustrial en Colombia bajo los criterios ESG? Para

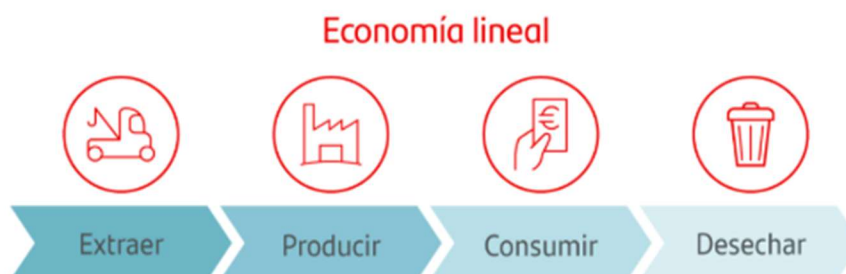
ello, se analizarán y presentarán diversos estándares y marcos de referencia reconocidos tales como Circulytics y el Indicador de Circularidad Material de la Fundación Ellen MacArthur, el Circularity Gap Report de Circle Economy, los lineamientos del Global Reporting Initiative (GRI), así como la familia de normas ISO 59000 sobre economía circular, entre otros. Esta revisión servirá de base para proponer un banco de indicadores clave que permita medir el nivel de circularidad en el sector agroindustria en Colombia.

## 1. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

### 1.1. ¿Qué es economía Circular?

La economía circular por definición se constituye como una estrategia reparadora y regenerativa, la cual podemos comprender cómo el modelo que procura mantener el valor de los recursos que ya están en circulación en el mundo en todo momento, reduciendo así, la demanda de recursos nuevos gracias a que distingue entre ciclos técnicos y biológicos para la regeneración de los mismos (Ellen MacArthur Foundation, S.F.).

Para comprender la Economía Circular (en adelante, EC), es fundamental primero entender el concepto de economía lineal. Este modelo tradicional de producción se basa en la extracción de materias primas, su transformación en productos y su eventual descarte sin considerar el impacto ambiental ni sus consecuencias. La economía lineal prioriza exclusivamente el beneficio económico, ignorando la sostenibilidad y la gestión responsable de los recursos.



## **ILUSTRACIÓN 1. ESQUEMA DEL MODELO DE ECONOMÍA LÍNEA. FUENTE: (BANCO SANTANDER)**

Por tal motivo este modelo de economía lineal se está replanteando hacia la economía circular pretende redefinir el crecimiento, centrándose en los beneficios positivos para la sociedad.

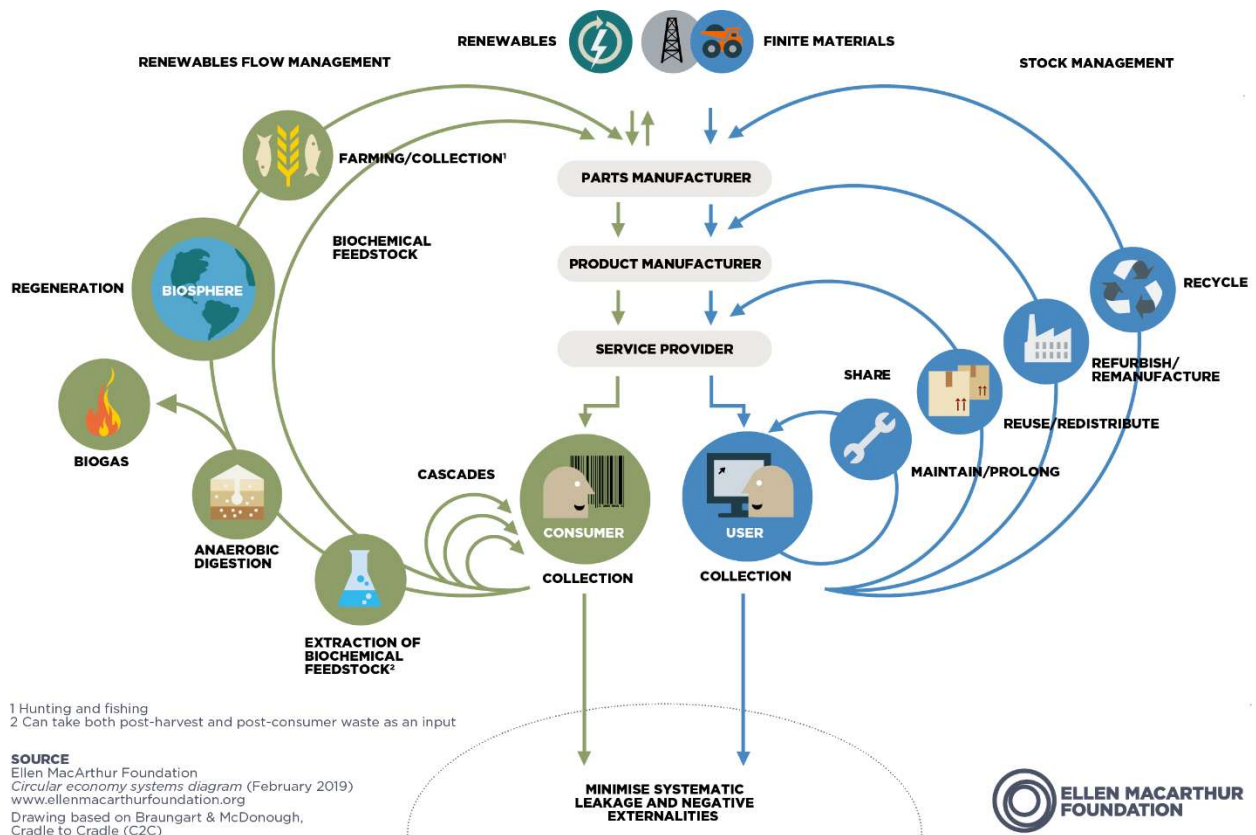
La Fundación Ellen MacArthur (2018), una de las más prominentes defensoras de la EC, afirma que:

La economía lineal tiene que cambiar. Debemos transformar todos los elementos del sistema de toma de decisiones: cómo gestionamos los recursos, cómo fabricamos y utilizamos los productos y qué hacemos con los materiales después. Solo entonces podremos crear una economía próspera que pueda beneficiar a todos dentro de los límites de nuestro planeta.

Por esto es fundamental reconocer la gravedad del problema actual que estamos enfrentando por el cambio climático. Que es el mayor desafío que como sociedad debemos enfrentar y trabajar juntos en las soluciones, por esto resulta imperativo que avancemos de manera gradual hacia la transición a fuentes de energía renovables y adoptemos modelos de economía circular. Estas acciones son esenciales para mitigar el impacto ambiental y asegurar un futuro de nuestras generaciones.

La definición adoptada para este modelo se basa en la que desarrollo la Fundación Ellen MacArthur.

“Sistemas de producción y consumo que promuevan la eficiencia en el uso de materiales, agua y la energía, teniendo en cuenta la capacidad de recuperación de los ecosistemas, el uso circular de los flujos de materiales y la extensión de la vida útil a través de la implementación de la innovación tecnológica, alianzas y colaboraciones entre actores y el impulso de modelos de negocio que responden a los fundamentos del desarrollo sostenible.” (Ellen MacArthur Fundación, 2014)



## ILUSTRACIÓN 2. MODELO DE ECONOMÍA CIRCULAR (DIAGRAMA DE LA MARIPOSA)

El Modelo de Economía Circular, promovido por la Fundación Ellen MacArthur, es una alternativa al modelo lineal tradicional de “tomar, hacer, desechar” en modelo como por definición es restaurativo y se puede explicar de la siguiente manera:

1. Ciclo Biológico (lado izquierdo del diagrama) Este ciclo está compuesto por materiales orgánicos y biodegradables como alimentos, fibras naturales, residuos agrícolas, entre otros. Estos materiales pueden reintegrarse de forma segura a la naturaleza a través de procesos biológicos como por ejemplo el compostaje para abonos naturales, digestión anaeróbica para producir descomposición de materia orgánica para generar biogás, fertilizantes o usos en cascadas.

2. Ciclo Técnico (lado derecho del diagrama): Este ciclo involucra materiales no biodegradables como metales, plásticos, vidrio, y componentes electrónicos. El enfoque aquí es mantener el valor de los productos, componentes y materiales el

mayor tiempo posible, evitando que se conviertan en residuos. Algunas estrategias utilizadas son la reutilización, reparación, remanufactura o reciclaje entre otros.

Por tal motivo esta transición solo se realizaría mediante estrategias que conecten ambos ciclos e incluyan la creación de nuevos productos y servicios pensados desde el ecodiseño y modelos comerciales circulares basados en la transformación de productos en servicios, y en la creación de cadenas de valor circulares que inserten materiales en los bucles de materiales (Ghisellini, Cialani y Ulgiati, 2016).

## **1.2. Marcos y modelos de referencia de economía circular.**

La economía circular a través de la Estrategia Nacional de Economía Circular y su constitución normativa (de ahora en adelante ENEC) puede interpretarse como un pacto por la reivindicación social de los hombres y mujeres para con sus entornos y los procedimientos industriales según la correspondencia que pueda lograrse con el equilibrio ambiental y sus características. Es por eso por lo que Vera-Acevedo, L. D., & Raufflet, E. (2022) se enfocan en consolidar su propuesta por medio del Análisis de la estrategia nacional de economía circular de Colombia a partir de dos modelos.

Estos dos modelos se denominan *Policy Mix* y las doce estrategias circulares, se habla del primero como una política de integridad que reúne diversos fundamentos para trabajar con base en una economía solidaria o circular, por ejemplo, dentro sus planes estaría persuadir de manera educativa a los jóvenes para que comprendan cuál es su rol al interior de los cambios sociales regulados por una necesidad explícita de proteger la naturaleza, es así que los gobiernos de turno también estimulan los quehaceres alrededor de la economía circular en la vida diaria. De igual manera, podría creerse, según los autores, que las doce estrategias también estarían dentro de la combinación de políticas estratégicas, ya que son ítems o puntos de apoyo para fortalecer las dinámicas que permitan su comprensión. Algunas de las estrategias son: consumo responsable, mantenimiento y reparación, ecología industrial, recuperación de energía, reciclaje y compostaje, entre otros.

Vera-Acevedo, L. D., & Raufflet, E. (2022) sugieren en sus apartados finales que

debe ligarse una mejor relación entre el estado y la academia, ya que ambas instituciones están interesadas en profundizar sobre la economía circular y toda su estructura en un marco normativo vigente. Este tema también ha sido de interés para la investigación académica debido a su impacto social en la organización de modelos productivos importantes que parecen mostrarse con mayor fuerza en el panorama global.

Es por esto por lo que, Rosero et al. (2024) crean un artículo de investigación cuyo nombre es Diseño de un modelo de economía circular para el proceso de producción de la Industria Licorera del Cauca. Su objetivo es plantear algunos razonamientos para construir un diseño óptimo de economía circular capaz de intervenir en la creación de políticas públicas y privadas, con el ánimo de tomar conciencia frente a los cambios climáticos presentados en las últimas décadas. Dicha explicación de modelo desea ilustrar estrategias empresariales para lograr producciones sostenibles, teniendo en cuenta también la moderación en los hábitos de consumo. Esta investigación concluye que los modelos de Economía Circular deben alinearse con los planes de desarrollo nacional y regional, fortaleciendo los nuevos modelos de desarrollo económico, social y ambiental. Se enfatiza la importancia de transformar los residuos en materia prima para nuevos productos, contribuyendo así al crecimiento económico y a la sostenibilidad ambiental.

Otro de los argumentos con los cuales el artículo de reflexión se sostiene es que a través de la propuesta del modelo circular haya un enfoque preciso en el flujo de materiales al interior de las cadenas de valor. Acto seguido, Medina y Freire (2022) redactan sus tesis abordando las dificultades que subsisten al momento de querer implementar los procesos de la economía circular, brindando un enfoque alternativo con propuestas de mejora. Su texto se nombra: Barreras para la implementación de la economía circular en países en vías de desarrollo. Los investigadores se muestran de acuerdo con otros estudios en el sentido de que la economía circular es un paso más allá frente a los métodos tradicionales de industria, pues en esa conciencia ambiental hay responsabilidad por salvaguardar la naturaleza y reaccionar ante sus circunstancias. Para eso, interioriza que la economía circular

propende en reducir los niveles de contaminación readecuando los desechos que surgen de los productos usados, un poco similar a trabajos anteriores que dan cuenta de esta transformación.

Dentro de los objetivos planteados están en identificar si aquellas barreras para implementar la economía circular pueden ser superadas sobre todo en países emergentes o que están en vía de desarrollo. Estas barreras podrían ser temas de organización cultural, problemas en el desarrollo tecnológico, creencias, ideologías, entre otras.

De acuerdo con Gutiérrez-León (2022) México y Colombia son dos países que en los últimos años han tomado iniciativas valiosas para profundizar en los nuevos modelos de producción explicados en la economía circular. Su trabajo de investigación se denomina: Aplicación de modelos de economía circular en México y Colombia, siendo un estudio de caso con un análisis en la transición de economías lineales a circulares aplicado a los negocios. Además, interiorizan sobre cuáles son los mecanismos de impacto para los países que pretenden dar este salto en la manera de entender el mundo y de obtener nuevas relaciones.

Asimismo, puede entenderse que la economía lineal es aquella que tiene un ciclo cumplido con la elaboración de sus productos, esto quiere decir, que se compra, se consume y finalmente se desecha, lo cual desata situaciones críticas para el medio ambiente y también para la vida social-organizada. Como parte de los resultados, los estudiosos comprenden cuáles son las reacciones de las personas o consumidores frente a las políticas públicas que buscan garantizar modelos más amigables con los ecosistemas, por lo tanto, podría indicarse que los dos países van en la ruta de proveer una conciencia ecológica que transforme todos los puntos de vista.

A su vez, a nivel mundial La Fundación Ellen MacArthur, creada en 2010 por la navegante británica Dame Ellen MacArthur, es una organización sin fines de lucro que busca acelerar la transformación de la economía lineal hacia un modelo circular. Con el objetivo de promover una economía global que sea regenerativa y que

contribuya a la restauración de los sistemas naturales. Para lograrlo la Fundación Ellen MacArthur trabaja de manera articulada con empresas, gobiernos y el sector académico, fomentando la adopción de principios circulares en distintos sectores y niveles de la sociedad.

Uno de los avances más significativos de la Fundación Ellen MacArthur es el desarrollo de Circulytics, que es una herramienta que se diseñó para evaluar el nivel de circularidad en las empresas. Esta herramienta no se limita a los productos o flujos de materiales, sino que ayuda a tener una visión integral del desempeño circular de toda la organización. Circulytics ayuda a identificar tanto los puntos fuertes como las áreas que requieren mejora, facilitando así la toma de decisiones estratégicas, esta herramienta está disponible de manera gratuita mediante un registro en línea en sitio web de la Fundación Ellen MacArthur (Ellen MacArthur Foundation, 2020).

Por otro lado, también se desarrolló por la Fundación Ellen MacArthur el Indicador de Circularidad de Materiales (MCI, por sus siglas en inglés). Este instrumento permite evaluar el valor circular adicional que presentan los materiales y productos de una empresa, al medir el nivel de recuperación de los flujos de materiales utilizados. Su aplicación es amplia, ya que puede ser empleada en el diseño de productos, en la elaboración de reportes internos, en las decisiones estratégicas de compra, así como en los procesos de evaluación o calificación de compañías (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

Por su parte, Circle Economy que desde su fundación en 2014 se consolidó como una organización líder a nivel mundial en la promoción de la economía circular. Su propósito principal es la de cambiar la noción tradicional de crecimiento económico, impulsando la adopción de modelos sostenibles y regenerativos que transformen el esquema lineal de “tomar, hacer y desechar”. Para lograr esto Circle Economy trabajan de manera colaborativa con los gobiernos, empresas, organizaciones no

gubernamentales y comunidades, generando sinergias que permiten avanzar hacia un desarrollo más sostenible.

Uno de los principales aportes de esta organización es el desarrollo de herramientas y metodologías innovadoras que facilitan a empresas la implementación de principios circulares en sus operaciones y estrategias corporativas. Entre sus iniciativas más reconocidas se encuentra el Circularity Gap Report, que es un informe que se genera anualmente que ayuda a evaluar el estado de la circularidad y este presenta diversos indicadores que permiten evaluar el nivel de circularidad de la economía global, ofreciendo una visión clara sobre su estado actual. Además de ayudar a identificar los factores estratégicos que pueden facilitar el avance hacia un modelo económico más circular.

Como conclusión, se tiene que los modelos de economía circular son esenciales para avanzar hacia un futuro más sostenible y resiliente. Sin embargo, su éxito requiere un enfoque colaborativo, educativo y adaptable que permita superar las barreras actuales y promueva un cambio cultural profundo hacia la sostenibilidad.

### **1.3. Indicadores e índices de economía circular**

De, L., Bueno De Melo, et al (2022) señala que hay tres niveles de implementación de la Economía Circular, representa una forma de planificar acciones que permitan la transición a la Economía Circular de forma aplicada.

La microesfera de la EC abarca acciones que involucran a actores individuales, consumidores y empresas. El ámbito Meso comprende iniciativas de cooperación industriales y regionales. A nivel Macro, las iniciativas son tratadas con mayor alcance, incorporando políticas públicas, gubernamentales o no. Sin embargo, además de una comprensión detallada del alcance de cada de estos ámbitos de implementación, De, L., Bueno De Melo, et al (2022) buscó comprender, a través de revisión de la literatura, cómo se interrelacionan las tres dimensiones. De esa manera, con base en la literatura adoptada, se sugiere que existe una relación de dependencia entre los tres niveles para la efectividad de la implementación de acciones dirigidas a transición a la Economía Circular. La microesfera depende de

un cambio de paradigma de actores individuales, empresas y consumidores. En el nivel Meso, por su vez, para que las iniciativas de implementación sean exitosas, es necesario predisposición de agentes a nivel Micro.

Los indicadores o métricas según Linder et al., (2017) de economía circular para evaluar la implementación de esta en las empresas aún son escasos, y hasta ahora, no hay un uso estandarizado a nivel mundial de un método sistemático para medir la CE por lo que se recomienda que se propongan indicadores más amplios en términos de CE.

Los índices empleados para la medir la economía circular, están enmarcados en los impactos ambientales y sociales generados por el uso de los recursos naturales y servicios ecosistémicos que la naturaleza provee, esto con el objetivo de obtener bienes y servicios para la cadena productiva; el objetivo de medir en el sector productivo es ingresar a la cadena los residuos o subproductos que salen de la cadena principal; existen casos, donde se construyen modelos para evaluar los diferentes contextos o panoramas en los que se encuentre interesada la industria, bien sea a corto, mediano o largo plazo y como es su impacto en los pilares que sostienen la estrategia de la compañía.

Elia et al. (2016), y Moraga et al. (2019), mencionan los indicadores utilizados para medir la economía circular en el contexto de la sostenibilidad incluyen el Material Circularity Indicator (MCI) evalúa la circularidad de los materiales en un producto, el Circular Economy Index (CEI) Proporciona una visión general del desempeño circular de un sistema, el Circular Economy Performance Indicator (CPI) Evalúa la efectividad de las estrategias de economía circular en términos de sostenibilidad, el product-Level Circularity Metric (PLCM), mide el valor económico de los flujos reciclados en comparación con todos los flujos económicos. Estos indicadores evalúan aspectos como la preservación de materiales, la eficiencia del reciclaje y la creación de valor económico a partir de flujos reciclados. Además, se utilizan índices compuestos como el Sustainable Circular Index (SCI) que integran información cualitativa y cuantitativa y mide el progreso hacia la sostenibilidad en el contexto de la economía circular. El MCI varía entre 0 y 1 en términos de materiales reutilizados, reciclados, origen y destino de la materia prima. Para esta herramienta,

la crítica planteada por Saidani et al. (2017) refleja que no es suficiente evaluar la circularidad de una empresa y sus varios componentes a nivel operativo; ya que otros aspectos esenciales no fueron considerados en el MCI, como modularidad, actualización, conectividad y desacople.

El alcance del MCI es más estricto que el de una CE (Saidani et al., 2017). Circulytics, a su vez, tiene como objetivo apoyar la transición de una empresa a una CE, midiendo el rendimiento circular de toda la empresa, apoyando la toma de decisiones y el desarrollo de estrategias, destacando estudios de caso inspiradores y proporcionando puntos de referencia de la industria, sin embargo, la métrica no puede diferenciar entre los diferentes tipos de constituyentes del producto (Linder et al., 2017), las prácticas de CE se traducen en procedimientos y políticas que pueden ser medidas (Vayona y Demetriou, 2020). Además, aunque Circulytics intenta capturar el ciclo de vida completo del sistema bajo estudio, en un enfoque micro de las dimensiones económica y ambiental según Oliveira et al., (2021), no contribuye a revelar el enfoque exitoso de una empresa para adoptar/implementar CE, ya que el enfoque está en una comunicación de políticas de CE de arriba hacia abajo (Vayona y Demetriou, 2020). Otro indicador se puede ver en el Kit de Herramientas de Economía Circular (2019), que evalúa productos en términos de circularidad, siendo una herramienta accesible, gratuita y en línea. La forma presentada al usar la herramienta muestra preguntas cuyas respuestas son 'sí', 'parcial' o 'no', en siete categorías principales que son diseño, fabricación y distribución; uso; reparación y mantenimiento; reutilización/redistribución; reacondicionamiento/remodelación; servicios, y; reciclaje de productos al final de su vida. Para C, la herramienta puede verse como superficial para cubrir la complejidad real de la CE, algunas preguntas pueden llevar a diferentes interpretaciones, y como la escala es ternaria, el usuario tiende a elegir la respuesta 'parcial', debido a esta cantidad de enfoques, la investigación de Anna M., et al (2021) plantea para crear cierta estructura para la gran cantidad de enfoques de evaluación disponibles, se identificaron cuatro categorías generales relevantes para las empresas que adoptan estos indicadores, la categoría de indicadores hechos a medida, que podrían basarse en un enfoque de ciclo de vida en un impacto directo, lo que permite adaptar

más estrechamente la evaluación de la CE o de la sostenibilidad al contexto específico de una empresa:

<b>Categorías de los enfoques de indicadores de evaluación</b>		
<b>Enfoque de evaluación de categorías</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Referencias</b>
<b>Basado en el ciclo de vida / Huella</b>	Huella de carbono	WBCSD y WRI, 2004
	Huella ecológica	Wackernagel y Beyers, 2019
	Huella ambiental del producto	CE, 2013
	Evaluación del ciclo de vida ambiental.	ISO, 2006a, 2006b
	Costo del ciclo de vida	Hunkeler y otros, 2008
	Análisis de flujo de materiales	Brunner y Rechberger, 2016
	Evaluación del ciclo de vida social.	PNUMA, 2020
	Huella hídrica	Hoekstra y otros, 2011
<b>Marco de presentación de informes</b>	Contabilidad ambiental	Bebbington y otros, 2021
	Estándar GRI	GRI, 2016
<b>Indicadores únicos</b>	Indicador de circularidad de materiales (por Ellen Fundación MacArthur)	Fundación MacArthur y Granta, 2015
	Durabilidad del material	Figge y otros, 2018
	Contenido reciclado	Kristensen y Mosgaard, 2020
	Tasa de reciclaje	Kristensen y Mosgaard, 2020
	Hora de desmontar	Vanegas et al., 2018
	Volumen de recursos no renovables no extraído	Kristensen y Mosgaard, 2020
	Volumen de producción de material virgen impedido	Kristensen y Mosgaard, 2020

	Volumen de residuos desviados del vertedero	Kristensen y Mosgaard, 2020
<b>Sastre - Indicadores</b>	Indicadores de circularidad a medida basados en un enfoque de ciclo de vida	N/A
	Indicadores de circularidad a medida basados en el impacto directo	N/A
	Indicadores de sostenibilidad a medida basados en el impacto directo	N/A
	Indicadores de sostenibilidad a medida basados en un enfoque de ciclo de vida	N/A
Fuente: Tomado de Anna M., et al (2021)		

**TABLA 1. CATEGORÍAS DE LOS ENFOQUES DE INDICADORES DE EVALUACIÓN**

Entre los años 2018 y 2020, la OCDE, consolidó un inventario de 474 indicadores en economía circular como resultado del análisis de 29 estudios realizados en la Unión Europea, China, Norte y Sur América. El inventario clasifica los indicadores en 5 categorías: medio ambiente (39%), gobernanza (34%), económicos y de negocio (14%), infraestructura y tecnología (8%), y social (5%). Adicionalmente, la OCDE plantea 33 subcategorías y 11 sectores que ayudan a agrupar los indicadores en un sistema específico en términos de residuos, materiales, construcciones, energía, alimentos, agua, administración pública y aire, entre otros. Como se observa, la mayoría de ellos enfatizan la medición de impactos ambientales sobre los socioeconómicos.

Los indicadores de impactos en el medio ambiente están relacionados con el uso y consumo de recursos naturales, así como con el impacto en los ecosistemas como producto del consumo de agua, energía, materias primas y suelo, y la generación de emisiones y residuos (Elia y otros, 2017). Gran parte de la literatura académica hasta el momento investiga y documenta la categoría de medio ambiente como la metodología de indicadores más común a nivel global (Manninen y otros, 2018). Por ejemplo, China fue el primer país en tener un sistema de monitoreo en el año 2012 con 22 indicadores categorizados en términos de extracción de recursos, consumo, uso integrado y disposición de residuos (Geng y otros, 2012). La Comunidad Europea también diseñó un sistema de 16 indicadores para la medición de la circularidad basada en factores de eco-innovación, agrupada en las categorías de entradas, salidas y eficiencia en el uso de recursos naturales (Smol y otros, 2017).

La gobernanza por su parte es entendida como una forma de gobierno basada en la interrelación entre estado, la sociedad civil y el mercado para lograr un desarrollo socioeconómico e institucional estable (Serna de la Garza, 2010). La gobernanza en la economía circular está relacionada con las instituciones encargadas de cerrar las principales brechas hacia la circularidad, entre ellas las financieras, regulatorias, políticas, y educativas (IBEC, 2019). Los indicadores en esta categoría están relacionados principalmente con la educación, el fortalecimiento de capacidades y los sistemas de monitoreo y financiación. En términos de educación, es posible medir el reconocimiento o 'conciencia' del concepto, seguido por el fortalecimiento de capacidades para entender y adoptar la estrategia, así como la puesta en marcha de estrategias e iniciativas por medio de mecanismos e incentivos. De igual forma, también incluye los sistemas de regulación como el monitoreo, la información y la evaluación necesaria para fortalecer las redes de colaboración y financiación (OECD, 2020).

Los beneficios económicos y de negocio, son analizados a partir del diseño de nuevos modelos de negocio capaces de generar ingresos adicionales, reducir costos, producir nuevos productos y servicios (Ellen MacArthur, 2014).

Adicionalmente, estos beneficios incluyen la apertura de nuevos mercados, la atracción de inversionistas y fuentes de financiación, aumento en la productividad y la generación de valor agregado incluyendo la eficiencia económica y los costos por cambios tecnológicos (Geissdoerfer y otros, 2017). Agencias internacionales como el WEF, estiman que la economía circular será capaz de generar beneficios económicos globales por \$4.5 trillones de dólares al año 2030 (WEF, 2019).

<b>Categorías de indicadores para la medición de la economía circular</b>	
<b>Categoría</b>	<b>Subcategoría</b>
<b>Economía y negocio</b>	Valor agregado
	Negocio
	Eficiencia económica
	Estructura económica
	Ganancias e ingresos
	Inversiones
	Productividad
	Ahorros
<b>Ambiente</b>	Eficiencia en uso de recursos
	Emisiones CO2
	Materiales de salida
	Producción y consumo
	Ahorros en materiales y recursos
	Uso
	Otros
<b>Gobernanza</b>	Conciencia
	Fortalecimiento de capacidades
	Colaboración
	Educación
	Financiamiento
	Innovación
	Monitoreo y evaluación
	Contratación pública
	Regulación
	Involucramiento de grupos de interés
	Estrategia e iniciativas
	Otros
<b>Infraestructura</b>	Tipo de tecnología
	Equipos
	Facilidades

	Productos y servicios
	Otros
<b>Empleos</b>	Empleos y recursos humanos

Fuente: Tomado de la (OCDE, 2020).

**TABLA 2. CATEGORÍAS DE INDICADORES PARA LA MEDICIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**

El cuadro presenta un amplio rango de indicadores con diversas subcategorías propuesta en la literatura y utilizada en la práctica. El análisis crítico del inventario del estudio de la OCDE en el cuadro muestra que no existe una forma unificada para medir los avances de la economía circular y que los indicadores no necesariamente son comparables. Además, los indicadores de impactos sociales no son categorizadas en su totalidad. Solo la categoría “empleos” hacen referencia a impactos sociales implicados en la generación de nuevos empleos formales. Indicadores para medir impactos relacionados con la mejora de salud o el cambio cultural, aún no están incluidos en los modelos analizados en el inventario referenciado. La diversidad de categorías y subcategorías de indicadores muestra que la economía circular es un concepto multidimensional, y multinivel.

Es por esto que la Comisión Europea, en la presentación de su marco de seguimiento para una economía circular, señala que “la transición hacia una economía circular no se limita a determinados materiales o sectores, sino que también se trata de un cambio sistémico que afecta a la totalidad de la economía”.

Dado que aún no existe una forma única de medir la circularidad que permita dimensionar todos sus aspectos, en la práctica se usan a conjuntos de indicadores y calculadores de circularidad para evaluar las distintas variables y niveles de análisis. Este concepto de economía circular se remonta a la década de 1970, pero hoy en día sigue siendo en la actualidad revolucionario y de amplio alcance generando una gran cantidad de generación de producción de documentos marco, guías y metodologías orientadas a su monitoreo, comunicación y reporte. En este contexto, y con el objetivo de establecer una referencia técnica común, se publicó

la norma ISO 59000:2024, la cual se enfoca específicamente en la economía circular y proporciona lineamientos para medir y evaluar el desempeño de circularidad en productos, organizaciones y cadenas de suministro proponiendo los siguientes indicadores.

<b>Categoría</b>	<b>Indicador de circularidad</b>		<b>Obligatoriedad</b>	<b>Propósito</b>
<b>Entradas de recursos</b>	A.2.2	Contenido promedio reutilizado en las entradas	Obligatorio	Retener valor del recurso
	A.2.3	Contenido promedio reciclado en las entradas	Obligatorio	Añadir valor al recurso
	A.2.4	Contenido promedio renovable en las entradas	Obligatorio	Añadir valor al recurso
<b>Salidas de recursos</b>	A.3.2	Vida útil promedio del producto/material respecto al promedio del sector	Opcional	Retener valor del recurso
	A.3.3	% de productos/componentes reutilizados derivados del flujo de salida	Obligatorio	Retener valor del recurso
	A.3.4	% de material reciclado derivado del flujo de salida	Obligatorio	Recuperar valor del recurso
	A.3.5	% de recirculación efectiva del flujo de salida en el ciclo biológico	Obligatorio	Recuperar valor del recurso
<b>Energía</b>	A.4.2	% promedio de energía consumida que es renovable	Opcional	Recuperar valor del recurso
<b>Agua</b>	A.5.2	% de agua extraída de fuentes circulares	Opcional	Mantener flujo circular de recursos
	A.5.3	% de agua descargada conforme a requisitos de calidad	Opcional	Mantener flujo circular de recursos
	A.5.4	Ratio de reutilización o recirculación del agua (interna o en sitio)	Opcional	Mantener flujo circular de recursos
<b>Económico</b>	A.6.2	Productividad de materiales (ingresos por masa de entrada lineal)	Opcional	Indicar reducción del recurso
	A.6.3	Índice de intensidad de recursos (crecimiento vs uso total de recursos)	Opcional	Indicar reducción del recurso

Fuente: Tomado de la ISO 59020:2024 (2024).

**TABLA 3. INDICADORES NÚCLEO DE CIRCULARIDAD SEGÚN ISO 59020:2024.**

#### 1.4. Economía Circular a nivel mundial.

Según Sánchez Ramírez, J. E. (2020), a nivel mundial existen múltiples procesos

de fabricación que llevan asociados un costo ambiental, desde el punto de vista de producir hasta que acaba el ciclo de vida útil del producto o servicio. El sistema de producción actual está basado en un concepto lineal, que engloba 3 aspectos principales producir, usar y tirar. El modelo lineal caracteriza porque en él, las empresas producen bienes y servicios, los consumidores los utilizan y consumen, las empresas sacan nuevos productos y servicios, los consumidores dejan de utilizar los que se han quedado viejos o se estropean y compran los nuevos. Con la entrada cada vez mayor de nueva tecnología y el aumento del poder adquisitivo y facilidades de inversión estos ciclos y/o líneas son más cortos y producen una gran huella ambiental, en este sentido la economía circular se apalanca como lo menciona Trejos Salazar, et al. (2023) en su estudio “Mapeo científico de la investigación mundial en economía circular y desarrollo sostenible” la investigación en torno a la economía circular y el desarrollo sostenible ha experimentado un notable crecimiento en los últimos años, con un aumento significativo en la producción científica desde el año 2017, y un verdadero auge en los últimos tres años (2020, 2021, 2022), período en el que se registra el 77% de las publicaciones. Este incremento refleja un creciente interés de la comunidad científica, académica y de la sociedad en general por estos temas críticos para el futuro. El estudio de la EC y el desarrollo sostenible no se limita a una región geográfica en particular, sino que abarca naciones de varios continentes, como se demuestra en el análisis de los países líderes en publicaciones en este campo. Italia, España y el Reino Unido lideran en la producción de contenido, generando el 36% del total de las publicaciones. Los diez países principales, incluyendo naciones de América, Europa, Asia y Oceanía, contribuyen con el 81% del total de las publicaciones a nivel mundial, y se destaca su colaboración en la investigación en estos temas.

### **1.5. Colombia en el marco de la economía circular.**

En Colombia, como se explica en la Guía Empresarial de Economía circular (Colombia Productiva 2020), la agroindustria genera 65% residuos orgánicos no aprovechados. Considerando que la producción agrícola en el mundo es responsable del 30% del consumo total de energía y un 22% del total de las

emisiones de gases de efecto invernadero (Organización de Naciones Unidas [ONU], 2015), se puede afirmar que la agricultura es una de las actividades humanas de mayor impacto ambiental por tal afirmación es fundamental pensar en estrategias de Circularidad para la Agroindustria que minimice los Riesgos Asociados en los Pilares ESG.

Con base en esto, la Estrategia Nacional de Economía Circular (Gobierno de la República de Colombia, 2019), se establecen dos enfoques principales: el modelo *Policy Mix* y las doce estrategias circulares previamente mencionados. En donde estos lineamientos incluyen prácticas orientadas a promover el consumo responsable, el mantenimiento y reparación de productos, así como el reciclaje y compostaje, con el objetivo de reducir el impacto ambiental y optimizar el uso de recursos en el país.

Además, el gobierno nacional a presenta una serie de regulaciones y herramientas relacionadas con el desarrollo agroindustrial sostenible en Colombia como lo son:

**Ley 164 de 1994**, mediante la cual se ratifica la CMNUCC, Colombia ha sido partícipe de los diferentes esfuerzos globales frente a este tema. El compromiso del país ha sido reiterado ante la comunidad internacional a través de la ratificación del Protocolo de Kioto en el 2000 (Ley 629 de 2000) y del Acuerdo de París (Ley 1844 de 2017).

**Ley de Acción Climática** (Ley 2169 de 2021 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), la cual incluye las metas nacionales de mitigación de GEI a 2030, así como las acciones mínimas para lograrlo y algunos proyectos en desarrollo para la promoción e incorporación de la agroindustria sostenible (Congreso de la República de Colombia, 2021).

**Plan Integral de Gestión del Cambio Climático del Sector Agropecuario** (Resolución 355 de 2021 del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural) El plan proporciona una caracterización del sector agropecuario, identificando su vulnerabilidad ante el cambio climático.

**Ley 2294 de 2023, Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026:** propone transformar el agro en un pilar de desarrollo sostenible. Con énfasis en el ordenamiento del territorio alrededor del agua, la transición hacia economías limpias y biodiversas, y la promoción de la equidad y la inclusión, el plan busca modernizar el sector agropecuario mediante la implementación de sistemas agroalimentarios territoriales, apoyo a pequeños productores, y fomento de la agroecología y cadenas productivas sostenibles, con el objetivo de impulsar el crecimiento económico inclusivo y respetuoso con el medio ambiente.

**Taxonomía Verde** es una de las muchas herramientas en las que se ha trabajado para enfrentar los grandes desafíos ambientales y sociales que enfrenta el planeta y, por ende, el país. En donde se pueden ver las acciones coordinadas y a gran escala que permitan movilizar los flujos financieros, tanto públicos como privados, en niveles compatibles con las sendas de desarrollo sostenible, bajo en carbono y resiliente. Siendo esto un esfuerzo conjunto de Gobierno, en colaboración interinstitucional entre el Ministerio de Hacienda y Crédito Público (MHCP) y la Superintendencia Financiera de Colombia (SFC), mesa de la Taxonomía Verde, de la que también hacen parte, junto con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), el Departamento Nacional de Planeación (DNP) y el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

El propósito de la Taxonomía es contar con un lenguaje común, para identificar, clasificar y diferenciar los activos y actividades económicas que contribuyen de manera sustancial al logro de los objetivos ambientales del país, los cuales responden a los compromisos, estrategias y políticas trazadas por Colombia en materia ambiental. Cho Pan, L. (2022). TAXONOMÍA VERDE DE COLOMBIA.

Teniendo en cuenta lo anterior, las regulaciones y herramientas desarrolladas por el gobierno colombiano, estas reflejan un fuerte compromiso con la agroindustria sostenible. Es por esto que, la implementación de la Estrategia Nacional de Economía Circular en Colombia constituye un eje central para fomentar prácticas industriales responsables y optimizar el uso de recursos ya se ha mencionado. Todas estas acciones refuerzan el compromiso del país con el desarrollo sostenible,

estableciendo estándares claros para la transición hacia una economía baja en carbono y resiliente frente a los desafíos ambientales globales.

En el contexto del desarrollo sostenible, es esencial implementar estrategias que permitan maximizar la eficiencia en el uso de los recursos y promover modelos productivos responsables. A continuación, se presentan doce estrategias claves para cerrar los ciclos de materiales, optimizar su uso y minimizar el consumo de recursos, las cuales están alineadas con los principios establecidos en la Estrategia Nacional de Economía Circular en Colombia.

<b>Estrategia</b>	<b>Definiciones e implicaciones para las organizaciones</b>
Ecodiseño	Busca minimizar los impactos ambientales de los productos en el ciclo de vida y los incluye en nuevos diseños. Se pueden diseñar productos que cumplan varias funciones simultáneamente, reducir la cantidad de insumos y favorecer los recursos de bajo impacto ambientales, tales como renovables, no tóxicos, reutilizables, reciclados, entre otros, y alargar la vida útil del producto
Consumo responsable	Identificación de nuevos criterios de adquisición centrados en el uso óptimo de recursos. Compra de productos usados en buen estado por parte del consumidor.
Optimización de la producción	Reducción del uso y consumo de recursos naturales como el agua, energía, metales, entre otros en la cadena de valor. Esto implica un mejoramiento de gestión de los datos para rastrear en los sistemas nuevas tecnologías, tales como la fabricación con aditivos y la impresión 3D.
Economía de colaboración	Abarca una amplia variedad de estrategias comerciales y modelos de comercio para maximizar el uso de los bienes y productos en circulación en el mercado, desde las iniciativas ciudadanas hasta las plataformas comerciales como UBER y Airbnb.

Alquiler	Una organización o individuo es propietario de una propiedad y arrienda su uso por un periodo fijo de tiempo. Aplicaciones: herramientas, el automotor y el inmobiliario, licencia de uso. En el arrendamiento, la gestión de los productos al final de su vida útil puede ser menos eficiente que en la economía funcional, en la que el fabricante conserva la propiedad y, por lo tanto, puede recuperarlos, repararlos y reacondicionarlos más fácilmente. Sin embargo, los propietarios también tienen interés en asegurar el mantenimiento y la reparación adecuada de los bienes, a fin de maximizar el rendimiento de su inversión.
Mantenimiento y reparación	El mantenimiento y la reparación de productos pueden ser llevados a cabo por el propio consumidor, una organización especializada, por ejemplo, la industria del calzado, agrupaciones formales e informales, talleres de reparación y mantenimiento, el distribuidor o el fabricante. Se trata de encontrarle una segunda vida a los productos estropeados.
Donación y reventa	Poner en circulación productos que ya no se necesitan pero que siguen en buen estado, ya sea directamente o a través de plataformas digitales.
Rehabilitación	Devolverle a un producto o a un componente su condición de nuevo, con una garantía equivalente o cercana a la de nuevo. En el sector del transporte, el equipo pesado o militar, con ciclos de vida muy largos, barcos, trenes, aviones, helicópteros, se reacondicionan, y de los productos acabados más ligeros, como los automóviles, se reutilizan ciertas partes.
Economía de la funcionalidad	Se centra en la venta de productos a los consumidores y compradores, pero la venta del uso; de esta manera, los usuarios compran la función y no el producto en sí. Privilegia el uso frente a la posesión, la venta de un servicio frente a un bien.
Ecología industrial	Optimización del uso de los recursos por parte de las empresas industriales de un territorio inspirándose en los ciclos de los ecosistemas naturales. Establece intercambios, sinergias, de materiales, flujos de energía o de recursos entre dos o más empresas.
Reciclaje y compostaje	Uso en un proceso de fabricación de un material recuperado para reemplazar un material virgen. Establecer los circuitos de reciclaje más cortos posibles y, por tanto, favorecer los mercados de reciclaje locales frente a los mercados de

	exportación. Por otra parte, para preservar el valor de los recursos, invita a centrarse en el reciclaje en productos de alto valor añadido. El compostaje aprovecha los materiales que se encuentran en los residuos.
Recuperación de energía	La recuperación de energía a través de procesos de tratamiento térmico, tales como incineración con recuperación de energía, combustión en una caldera industrial o en un horno de cemento, pirólisis y gasificación. Se trata de aprovechar energéticamente los residuos que no se pueden reciclar.

Tomado: Vera-Acevedo, L. D., & Raufflet, E. (2022).

**TABLA 4. DOCE ESTRATEGIAS, DEFINICIONES E IMPLICACIONES PARA LAS ORGANIZACIONES.**

### **1.6. Economía circular Agroindustria sector Caficultor**

La economía circular es un modelo de producción y consumo que busca optimizar el uso de materiales, agua y energía, asegurando la recuperación de los ecosistemas y promoviendo la reutilización de los flujos de materiales en ciclos productivos sostenibles. Este enfoque se basa en la implementación de innovaciones tecnológicas, el fortalecimiento de alianzas estratégicas y el desarrollo de modelos de negocio que favorezcan la sostenibilidad a largo plazo.

En el sector caficultor, la aplicación de la economía circular es clave para la reducción de residuos y el aprovechamiento de subproductos. A través de estrategias basadas en la bioeconomía circular, es posible transformar los residuos generados en el beneficio e industrialización del café en bioproductos y bioenergía, promoviendo así un esquema de producción con cero desperdicios. Este modelo no solo permite disminuir la presión sobre los recursos naturales, sino que también contribuye a mitigar el impacto ambiental mediante la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la prevención de la contaminación.

Además de sus beneficios ambientales, la economía circular en la caficultura representa una oportunidad para mejorar la rentabilidad del sector. Al generar valor agregado a partir de subproductos como la pulpa, el mucílago, la cascarilla y la borra

de café, se pueden desarrollar nuevas líneas de negocio sostenibles, fortaleciendo la competitividad de los productores y promoviendo la transición hacia una caficultura más responsable y resiliente ante los desafíos del cambio climático (Rodríguez-Valencia, 2023).

Teniendo en cuenta lo anterior, la economía circular en la caficultura puede ser valorizada y utilizados en diferentes aplicaciones industriales y agrícolas aquí algunas aplicaciones:

### **1.6.1 Pulpa de café**

La pulpa de café representa aproximadamente el 43% del peso del fruto fresco y es el principal subproducto del beneficio húmedo (Montilla, 2006). Su aprovechamiento incluye:

**Producción de abonos orgánicos:** Mediante procesos de compostaje y lombricultura, la pulpa se transforma en un fertilizante rico en materia orgánica, mejorando la calidad del suelo y reduciendo la dependencia de fertilizantes sintéticos (Dávila & Ramírez, 1996; Blandón et al., 1999),

**Alimentación animal:** Se han desarrollado suplementos para el ganado y cerdos a partir de pulpa deshidratada y fermentada (Buitrago et al., 1970).

**Biocombustibles y bioetanol:** La pulpa es una fuente potencial para la producción de biogás y bioetanol debido a su alto contenido de azúcares y celulosa (Rodríguez & Zambrano, 2011).

#### **1.6.1.1 Mucílago de café**

Este subproducto, que representa el 14% del peso del fruto, es rico en azúcares y compuestos bioactivos. Sus aplicaciones incluyen:

**Producción de biogás:** A través de procesos de digestión anaerobia, el mucílago se convierte en una fuente de energía renovable (Rodríguez & Zambrano, 2011)

**Elaboración de pectinas y antioxidantes:** Se han desarrollado extractos de mucílago con aplicaciones en la industria alimentaria y farmacéutica (Ortiz, 2012).

La cascarilla de café se obtiene en la etapa de trilla y representa cerca del 4.4% del peso del fruto (Montilla, 2006). Su valorización permite:

**Producción de hongos comestibles y medicinales:** Sirve como sustrato para el cultivo de hongos como el shiitake y el ganoderma (Rodríguez & Zuluaga, 1994).

**Elaboración de bioplásticos y materiales de construcción:** Se han desarrollado paneles y aislantes térmicos a partir de fibras de cascarilla (Zeledón et al., 2017).

**Uso como biocombustible sólido:** Debido a su alto contenido de lignina, la cascarilla es un excelente insumo para la producción de pellets de biomasa y carbón activado (Oliveros et al., 2009).

#### **1.6.1.2 Borra de café**

La borra, generada en la preparación de la bebida, puede representar hasta el 7.3% del peso del fruto y es rica en compuestos antioxidantes. Sus usos incluyen:

**Producción de bioplásticos:** Se han desarrollado polímeros biodegradables a partir de la lignina y celulosa contenidas en la borra (Vargas-García et al., 2021).

**Fabricación de productos cosméticos y farmacéuticos:** Gracias a su contenido de cafeína y antioxidantes, se ha utilizado en cremas y exfoliantes naturales (Arellano-González et al., 2011).

**Sustrato para la obtención de bioetanol:** Mediante procesos de fermentación, la borra puede ser transformada en bioetanol como fuente de energía renovable (Villa et al., 2019).

### **1.6.1.3 Tallos y ramas de café**

El sistema de poda y renovación de cafetales genera residuos lignocelulósicos que pueden ser aprovechados para:

**Producción de carbón activado:** Se han desarrollado procesos de pirólisis para obtener carbón activado a partir de los tallos de café (Sierra et al., 2013).

**Generación de bioenergía:** A través de gasificación y pirolisis, los residuos leñosos del café pueden transformarse en biocombustibles sólidos y líquidos (Tibaduiza, 2023).

**Elaboración de muebles y materiales de construcción:** Se han fabricado paneles aglomerados y compuestos de madera reciclada a partir de tallos de café (Mateus et al., 2018).

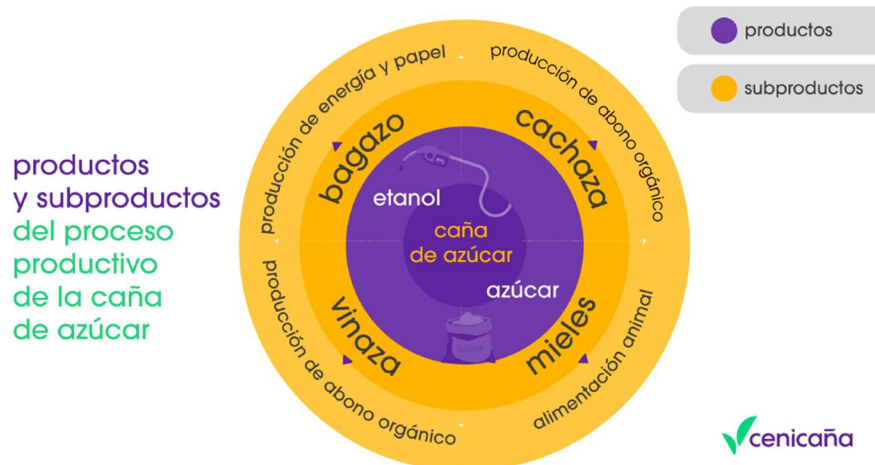
## **1.7. Economía circular agroindustria sector de la caña de azúcar.**

Como lo indica Nuñez (2022), Los residuos y subproductos de la agroindustria, al disponerse sin un tratamiento previo pueden llegar a alterar los ecosistemas en donde se disponen (Vargas y Pérez, 2018). Es por eso, que se necesita contar con procesos de aprovechamiento adecuados para darle valor agregado a los residuos en iniciativas como el compostaje y otras enmiendas en los suelos del cultivo, procesos de biorremediación para degradar sustancias contaminantes, producción de alimento animal, producción de biocombustible y bioenergía.

La economía circular en el sector de la caña de azúcar es cotidiana, según Díaz-De Los Ríos, M. (n.d.) la agroindustria azucarera, a lo largo de su desarrollo, ha planificado su estrategia de conservación, desarrollo y diversificación bajo los

principios de lo que hoy se ha definido como EC; por lo que, para nuestra agroindustria, este paradigma no es nuevo. El desarrollo de nuevas tecnologías, en su inmensa mayoría, ha cumplido con los principios básicos de la EC; eliminar los residuos y la contaminación, recircular los productos y materiales y regenerar la naturaleza. Las producciones de energía, etanol y el fertirriego/composteo constituyen ejemplos clásicos de EC. Según los estudios, los retos más importantes para el perfeccionamiento de la EC o diversificación, como la hemos llamado, son lo económicos y financieros, así como la ausencia de legislación política en muchos países en favor de una EC, esto lo podemos extrapolar a nivel país del sector de la caña, tal como lo menciona Jesus, G. M. K., et al (2023) analizan el caso de la industria Brasileña y valoran, mediante análisis de jerarquía de procesos, tres tipos de barreras para la inserción en un programa de EC: 1-Sociales y medioambientales, 2-económicas y financieras y 3-tecnológicas y operacionales. Ellos concluyen que las principales barreras en Brasil son económicas y financieras, aunque recalcan que existe una falta de legislación nacional respecto a la EC, tal como existe para la UE y China.

La agroindustria de la caña es en sí un modelo circular, (CENICAÑA,2024), los subproductos obtenidos de los procesos de molienda como el bagazo, son usados como fuente de combustible alternativo, subproductos de la cristalización, secado, como la como la cachaza y la vinaza, son insumos principales para los abonos orgánicos, y de un tercer subproductos como las mieles, está el uso principal para concentrado animal, como lo indica ilustración 2, este es el diagrama general de un ingenio azucarero.

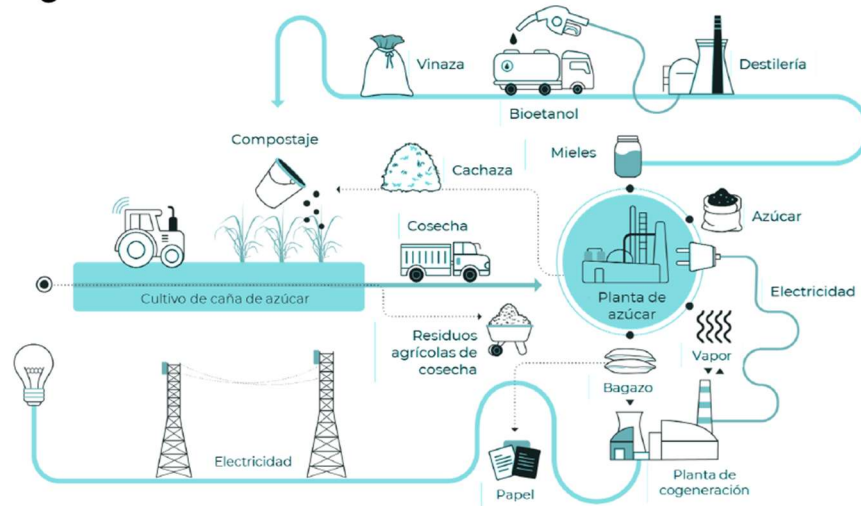


Tomado de CENICAÑA, 2024.

### ILUSTRACIÓN 3. PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS CAÑA DE AZÚCAR.

Ahora, si se detalla las entradas y salidas de un modelo de negocio azucarero, en donde se presentan los sistemas generales a través de los cuales se genera valor para toda la industria, lo observamos en la ilustración 3, donde se han aprovechado las políticas públicas y la integración de estas a modelos circulares como el bioetanol producido para la mezcla de combustibles en Colombia a partir de las mieles, subproductos de la fabricación del azúcar.

## Somos una Agroindustria circular



Tomado de CENICAÑA, 2024.

### ILUSTRACIÓN 4. INDUSTRIA AZUCARERA, UN MODELO CIRCULAR.

ASOCAÑA (2024) gracias a este modelo de circularidad, además de producir azúcar en distintas calidades, la agroindustria de la caña cuenta con procesos de cogeneración que consisten en la producción combinada de energía eléctrica y energía térmica dentro del mismo ciclo productivo de los ingenios. Además, se produce bioetanol para el programa de oxigenación de las gasolinas y, a partir de la vinaza que se genera subproducto del bioetanol, las destilerías producen fertilizantes orgánico minerales. Finalmente, el bagazo, que es un subproducto de la molienda de caña, se destina a la producción de papel y al proceso de generación de energía térmica.

#### 1.7.1. Circularidad existente en el sector.

##### 1.7.1.1. Fertilizantes orgánico-minerales

ASOCAÑA (2024), en el marco de la estrategia de circularidad, en la agroindustria de la caña utilizan fertilizantes orgánico-minerales producidos a partir de la vinaza. Esto ha permitido disminuir el uso de fertilizantes nitrogenados y sustituir en un 100 % la aplicación de fertilizante potásicos. Con la aplicación de fertilizantes a partir de

vinaza, reemplaza el uso de Cloruro de Potasio (KCL) hasta en 20.000 toneladas al año. Lo anterior no solo reduce la dependencia de estos agroquímicos en el país, sino que también contribuye a nuestra seguridad alimentaria, permitiendo producir alimentos con productos nacionales de origen orgánico y no químico.

#### **1.7.1.2. Bioetanol a partir de mieles**

Tecnicaña, (2024), la mezcla de etanol con gasolina es una práctica que ofrece una serie de beneficios ambientales y económicos, pero también plantea desafíos que deben abordarse de manera adecuada. Con un enfoque adecuado en la sostenibilidad y la eficiencia, esta mezcla puede desempeñar un papel importante en la transición hacia un sistema de transporte más limpio y sostenible.

En Colombia, la producción de etanol a partir de la caña de azúcar también es relevante, aunque en menor medida que en países como Brasil. La industria azucarera colombiana ha estado produciendo etanol desde hace varias décadas, principalmente para uso industrial y farmacéutico. Sin embargo, en los últimos años, el país ha aumentado su enfoque en la producción de etanol como biocombustible, especialmente para mezclarlo con gasolina y reducir las emisiones contaminantes.

Según datos de la Asociación Colombiana de Productores de Azúcar (ASOCAÑA), en 2023, Colombia produjo alrededor de 328 millones de litros de etanol, de los cuales aproximadamente el 85% se utilizó para mezclarlo con gasolina. Esta mezcla, conocida como etanol anhidro, ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y a mejorar la calidad del aire.

La producción de etanol en Colombia también ha generado beneficios económicos y sociales. La industria azucarera emplea a miles de personas en áreas rurales y contribuye significativamente al desarrollo económico de las regiones donde opera. Además, el uso de etanol como biocombustible ayuda a reducir la dependencia del petróleo y a diversificar la matriz energética del país.

#### **1.7.1.3. Cogeneración de energía.**

ASOCAÑA (2024), la cogeneración es un proceso de producción combinada de energía eléctrica y energía térmica, que hace parte integrante de la actividad productiva de quien produce dichas energías, destinadas ambas al consumo propio o de terceros. En el sector agroindustrial de la caña esta producción de energía se realiza principalmente a partir de Bagazo (fuente no convencional de energía renovable).

Los excedentes hacen referencia a la energía eléctrica disponible una vez cubiertas las necesidades de consumo propio. Estos excedentes son vendidos al Sistema Interconectado Nacional (SIN). Sin duda, la cogeneración agroindustrial ofrece una fuente renovable y estable de energía para el país.

El aporte de la cogeneración del sector agroindustrial de la caña será muy importante, en la medida que la energía, además de ser renovable, tiene un comportamiento estable y está ubicada precisamente en una región donde no hay grandes centrales hidroeléctricas. Esto implica que se reducen las pérdidas en transporte y distribución, y la energía puede ser aprovechada en los centros de consumo cercanos. Adicionalmente, los cogeneradores están en capacidad de ofrecer al menos 50 mwh de energía adicional en caso de requerirse, si se brindan condiciones especiales que faciliten su generación e inyección al sistema.

### **1.7.2. Retos de aprovechamiento en el sector.**

CENICAÑA, (2024) algunos de los subproductos del proceso de aprovechamiento de la caña, como la cachaza y la vinaza, tienen el potencial de generar biogás a partir de la digestión anaerobia. El biogás está compuesto principalmente de metano (50 – 65%) y dióxido de carbono (35 - 50%), además de una fracción de monóxido de carbono y ácido sulfhídrico. Este producto, siendo un biocombustible, tiene el potencial de mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), debido a sus bajas emisiones por unidad energética, comparado con los combustibles fósiles y algunos combustibles renovables, ver Ilustración 4. Una de las alternativas para el aprovechamiento del biogás es llevarlo directamente a las calderas instaladas en el sector y utilizarlo para reducir el consumo de carbón o bagazo. Considerando las

emisiones de GEI por GJ de energía contenida en los combustibles, el biogás tiene el potencial de mitigar más del 99% de las emisiones del carbón y alrededor del 97% de las emisiones del bagazo.

Combustible	kg CO <sub>2eq</sub> /GJ
Carbón	88.58
Diesel	73.47
Gasolina	67.03
Gas natural	55.60
Bagazo/RAC	1.90
Bioetanol	0.25
Biogás	0.05

Tomado de CENICAÑA, 2024

**ILUSTRACIÓN 5. EMISIONES DE GEI DE DIFERENTES COMBUSTIBLES Y BIOCOMBUSTIBLES.**

El biogás se proyecta como una de las alternativas productos del sector. Este contribuiría a incrementar la circularidad del proceso productivo y es una alternativa que favorece la transición energética y la mitigación de emisiones requerida a nivel nacional e internacional.

**1.8 Reducción de Riesgos Asociados con los Pilares ESG**

La sostenibilidad en las organizaciones es un factor clave en la reducción de riesgos ambientales, sociales y de gobernanza (ESG). Según Eccles, Ioannou y Serafeim (2012), las empresas que adoptan estrategias de sostenibilidad presentan procesos organizacionales más estructurados para la gestión de riesgos no financieros. Estas organizaciones, denominadas "High Sustainability companies", a compañado de informes de sostenibilidad y desarrollo de métricas ESG que permitan medir su gestión e impacto de esta manera garantizando su sostenibilidad en el largo plazo.

De acuerdo con los anterior tener un enfoque en la gestión de riesgos ESG les permite a las organizaciones anticiparse y mitigar impactos negativos, como

sanciones regulatorias, litigios ambientales y crisis reputacionales (Eccles et al., 2012). Asimismo, estas organizaciones demuestran que sus procesos son más efectivos y mayor involucramiento con stakeholder, lo que fortalece su resiliencia y capacidad de adaptación a cambios en el entorno empresarial.

En este contexto, la economía circular emerge como una estrategia clave para fortalecer la gestión de riesgos ESG en las organizaciones. De acuerdo con la metodología de indicadores de circularidad propuesta por la Fundación Ellen MacArthur (2019), la circularidad permite desacoplar el crecimiento económico del consumo de recursos finitos, optimizando la eficiencia en el uso de materiales y reduciendo la exposición a riesgos.

Asimismo, tenemos que los elementos centrales de la circularidad son el índice de Circularidad de Materiales (Material Circularity Indicator, MCI), el cual evalúa el grado en que los flujos de materiales de una empresa o producto se mantienen dentro del ciclo productivo en lugar de perderse como desechos (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

Ahora bien, si se mira desde perspectiva de gobernanza, la implementación de métricas de circularidad en de acuerdo con el estudio de este trabajo en el sector de la agroindustria tener dichas métricas ayudara en la toma de decisiones estratégicas basadas en el análisis de los datos. Al medir aspectos como la cantidad de materiales recuperados, la eficiencia en el uso de recursos y los subproductos aprovechados, en sector de la agroindustria le facilita el cumplimiento normativo y mejorar su reputación frente a reguladores e inversionistas (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

Por otro lado, también existen indicadores de riesgo que podrían ayudar complementar el índice de Circularidad de Materiales (Material Circularity Indicator, MCI) pensando en el sector de la agroindustria y estos son algunos de ellos.

<b>Indicador de Riesgo</b>	<b>Descripción</b>
----------------------------	--------------------

<b>Disponibilidad de material</b>	Evalúa la dificultad de acceso a materiales por factores como competencia, estabilidad política, costos, etc.
<b>Índice Herfindahl-Hirschman (HHI)</b>	Mide el grado de monopolio o concentración de mercado de un producto específico.
<b>Indicador de Gobernanza Mundial (WGI)</b>	Proporcionado por el Banco Mundial, evalúa la calidad de la gobernanza del país productor de los materiales.
<b>Escasez de material</b>	Relacionado con la abundancia o disponibilidad limitada de ciertos materiales, especialmente críticos.
<b>Toxicidad</b>	Evalúa si los materiales contienen sustancias peligrosas sujetas a regulación que pueden limitar su uso.

**TABLA 5. INDICADORES DE RIESGOS COMPLEMENTARIOS**

En conclusión, la aplicación de estrategias de circularidad en la agroindustria no solo permite una mayor eficiencia en el uso de recursos y aprovechamiento de los subproductos, sino que también contribuye a minimizar riesgos ambientales, sociales y de gobernanza (ESG), fortaleciendo la sostenibilidad del sector a largo plazo.

### **1.9 Estándares de economía circular**

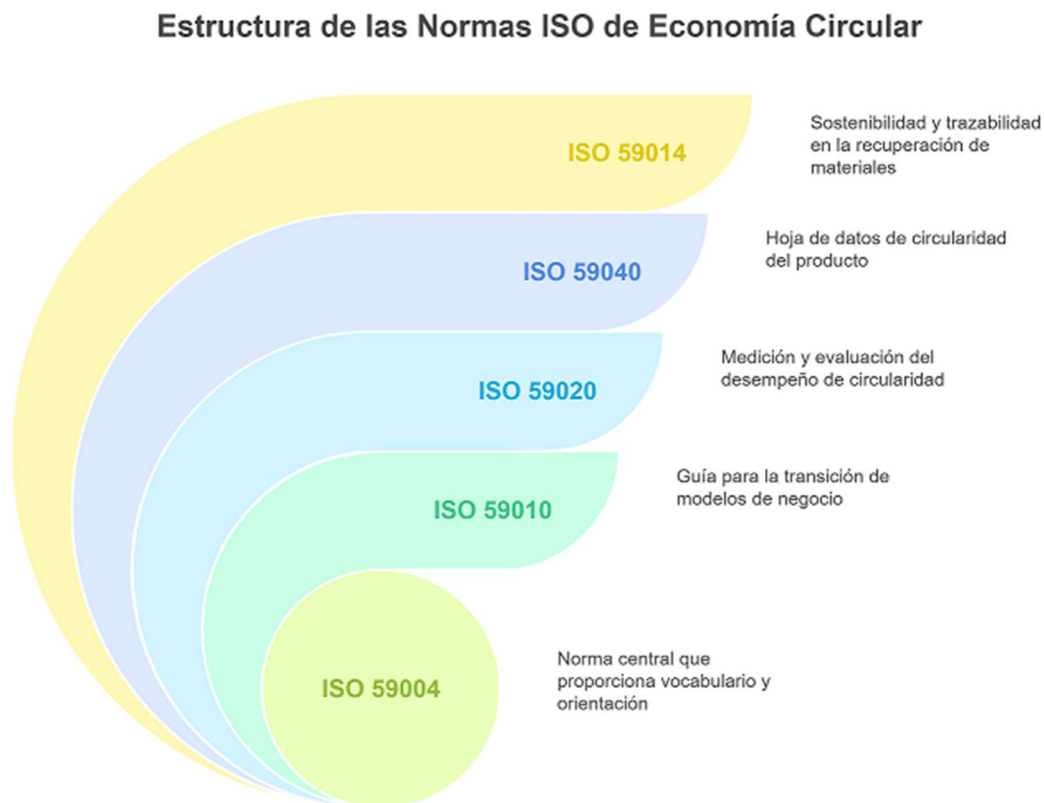
Para avanzar hacia una economía circular, es necesario establecer una distinción clara entre los criterios que evalúan la circularidad de los productos y aquellos que se aplican al funcionamiento integral de las organizaciones. En este contexto, la existencia de estándares específicos se vuelve clave para traducir los principios de circularidad en acciones concretas y medibles es por esto que la norma ISO 59000:2024 Circular economy Measuring and assessing circularity performance, la cual establece un marco estandarizado para medir y evaluar el desempeño de la circularidad en sistemas económicos. Esta norma, fue desarrollado por el comité técnico ISO/TC 323, la cual da directrices para las organizaciones que buscan cuantificar su transición hacia modelos circulares, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU (ISO, 2024).

Su enfoque es sistémico el cual va a permitir medir los flujos de los recursos de las (entradas y salidas), identificar oportunidades de mejora y evitar el "greenwashing"

mediante indicadores verificables que son uno de los objetivos de este trabajo.

La norma nos habla de indicadores obligatorios se incluyen, por ejemplo, el porcentaje de contenido reciclado, reutilizado y renovable en las entradas, así como la tasa de reciclaje, reutilización o recirculación en las salidas. También se contemplan indicadores de carácter opcional asociados al uso de energía, agua y desempeño económico, lo cual permite adaptar la medición a las prioridades estratégicas de cada organización.

De esta manera la norma consideramos que en la práctica las organizaciones que consideren implementar o adoptar la norma ISO 59000, tendrán un ejercicio técnico y sistemático que impulsara una transformación real y medible en los sistemas productivos.



**ILUSTRACIÓN 6. SERIE DE NORMAS ISO 59000 SOBRE ECONOMÍA CIRCULAR**

Otro referente en el desarrollo de estándares sobre economía circular es la British Standards Institution (BSI), organismo responsable de la normalización en el Reino Unido y reconocido a nivel internacional por la creación de normas técnicas. En el año 2017, esta entidad publicó la primera norma específica sobre economía circular, estableciendo un marco práctico y flexible compuesto por ocho etapas.

Este marco tiene como objetivo guiar a las organizaciones en la aplicación de los principios de la economía circular, permitiendo que cada una de ellas se incorpore en la etapa que mejor se ajuste a su nivel de madurez o grado de avance en el tema. La última etapa (número ocho) se enfoca en la monitorización, revisión y reporte de resultados. Si bien la norma no impone un método único de seguimiento, deja en manos de cada organización la elección de las herramientas más apropiadas a su contexto. Entre los métodos sugeridos se incluyen el análisis de flujos de materiales, el análisis del ciclo de vida del producto (ACV), así como indicadores que consideren variables como la reciclabilidad, la durabilidad o la proporción de materiales secundarios empleados en los productos.

## **2. METODOLOGÍA**



**ILUSTRACIÓN 7. ETAPAS DE LA METODOLOGÍA A DESARROLLAR. CONSTRUCCIÓN PROPIA.**

Para llevar a cabo este estudio, se inició con una fase de investigación y recopilación de información bibliográfica para construir el marco teórico y definir la conceptualización, la referencia a normas internacionales (ISO 59000, GRI, SASB, TCFD) y marcos locales (Taxonomía Verde de Colombia) entre otros.

Las agroindustrias que implementen prácticas de economía circular, donde enmarquen sus operaciones en alguno de sus principios, podrán acceder a un banco de indicadores, donde puedan identificar en que puntos de la parte alta de la cadena de valor, se tienen brechas para trabajar y finalmente cerrar, esto enmarcado en los pilares ESG que puedan afectar a cada agroindustria en particular.

Se construyó una tabla que describe los riesgos ESG asociados a la agroindustria, los cuales serán clasificados según las dimensiones que puedan impactar la parte alta cadena de valor, tales como riesgos ambientales, sociales y de gobernanza.

Se propone un banco de indicadores fundamentado en la metodología MCI (*Material Circularity Indicator*) para analizar los cierres de ciclo de materiales, complementado con indicadores de impacto de ciclo con la metodología GRI para la medición de indicadores de impacto económico, ambiental y social, cada uno de estos indicadores con impacto de la dimensión ESG de los riesgos identificados para la agroindustria.

Para el sector de la caña de azúcar, se realizará un análisis detallado y se propondrán indicadores específicos para medir la circularidad de un producto con el fin de correr la herramienta.

En el caso del café, se aplicará la herramienta con el fin de identificar las brechas existentes en materia de circularidad dentro de este sector de la agroindustria.

## **2.1 Caso de Estudio**

La agroindustria es un sector clave para la transición hacia modelos sostenibles y circulares, dado su alto consumo de recursos, generación de residuos e impacto socioambiental.

Este sector representa una parte fundamental de la economía nacional, no solo por su aporte al PIB y a las exportaciones, sino también por su fuerte vínculo con el desarrollo rural del país.

Sin embargo, la agroindustria, enfrenta desafíos crecientes relacionados con el uso intensivo de recursos naturales, la generación de residuos y emisiones, así como con la necesidad de adaptarse a exigencias cada vez más rigurosas en términos ambientales, sociales y de gobernanza (ESG).

Dado estos desafíos este trabajo busca una generar una herramienta que permita medir y gestionar los niveles de sostenibilidad y circularidad a lo largo de la cadena de valor y minimizar los riesgos asociados a los pilares asociados ESG.

**2.2. Planteamiento del modelo.**

**2.2.1. Identificación de Riesgos:**

Se plantea un modelo basado en los riesgos identificados para la agroindustria, extrayendo de fuentes como el informe de riesgos globales, Global Risk Report, 2024, el Informe mundial sobre riesgos de la alimentación, las bebidas y la agricultura 2024 y el informe como "The State of Food and Agriculture" donde se abordan riesgos climáticos y sostenibilidad en la agroindustria, esto permitió abarcar y agrupar dimensiones de acuerdo con los asuntos materiales, riesgos asociados y riesgos emergentes.

**2.2.2. Agrupación de Indicadores por dimensión:**

Alienados con las dimensiones a los indicadores de cierre de ciclo y los indicadores de impacto de ciclo, lo que nos permite medir el MCI como primer paso, y como indicadores complementarios, se partirán de los estándares GRI en cada uno de los ítems seleccionados para el modelo, en la dimensión, se nombran A, para la dimensión ambiental, S, para la dimensión social y G para la dimensión de gobernanza:

Indicadores de Cierre de Ciclo	
MCI	Dimensión
<b>% Circularidad del material:</b> la masa de materia prima virgen utilizada en la fabricación	<b>A</b>
<b>% Masa residuos irrecuperables:</b> La masa de residuos irrecuperables que se atribuye al producto	<b>A</b>
<b>Factor de Utilidad:</b> que da cuenta de la duración y la intensidad del uso del producto.	<b>A</b>
<b>Índice de Flujo Lineal:</b> Representa la proporción de material lineal tomado	<b>A</b>

Indicadores de Impacto	
Impacto del Ciclo	Dimensión
<b>Energía:</b> Bajo el estándar GRI 302	<b>A</b>
<b>Consumo de agua y Vertimientos:</b> Bajo el estándar GRI 303	<b>A</b>
<b>Emisiones:</b> Bajo el estándar GRI 305	<b>A</b>
<b>Biodiversidad:</b> Bajo el estándar GRI 304	<b>A</b>
<b>Relaciones Trabajado-Empresa:</b> Bajo el estándar GRI-402	<b>S</b>
<b>Diversidad e igualdad de oportunidades:</b> Bajo el estándar GRI 405	<b>S</b>
<b>Trabajo forzoso u obligatorio:</b> Bajo el estándar GRI 409	<b>S</b>
<b>Prácticas en materia de seguridad:</b> Bajo el estándar GRI 410	<b>S</b>
<b>Anticorrupción:</b> Bajo el estándar GRI 205	<b>G</b>
<b>Estructura de gobernanza y composición:</b> Bajo el estándar de contenidos generales Contenido GRI 2-9	<b>G</b>
<b>Delegación de la responsabilidad de gestión de los impactos:</b> Bajo el estándar de contenidos generales GRI 2-13	<b>G</b>
<b>Incorporación de los compromisos y políticas:</b> Bajo el estándar del contenido GRI 2-24	<b>G</b>

**ILUSTRACIÓN 8. PILARES DE INDICADORES A MEDIR. CONSTRUCCIÓN PROPIA.**

### **3. CONSIDERACIONES ÉTICAS**

El desarrollo del presente trabajo de grado titulado herramienta de medición de circularidad aplicada a la agroindustria para fortalecer la gestión sostenible bajo criterios ESG ,se fundamenta en principios éticos que garantizan la integridad del proceso investigativo.

#### **a. Confidencialidad y Anonimato**

La información recopilada fue de uso exclusivo para el desarrollo académico de la maestría. La seguridad de la información recopilada esta almacenada y protegida con contraseñas de único acceso para el grupo de investigación; cada uno de los integrantes del equipo, tiene el compromiso de no compartir ni divulgar la información contenida en el trabajo de grado a terceros.

#### **b. Propiedad Intelectual y uso de herramientas tecnológicas**

La integridad académica ya que las fuentes de información utilizadas en la investigación fueron citadas, respetando las normas internacionales de propiedad intelectual.

Asimismo, se utilizó tecnología de inteligencia artificial, específicamente ChatGPT, para optimizar la redacción y asegurar la coherencia en diversas secciones del documento, así como en la estructura del contenido, lo que resultó en una presentación más clara, precisa y bien organizada.

#### **c. Conflicto de Intereses**

En este caso, para el desarrollo de los anexos, ambos estudiantes se encuentran vinculados a las organizaciones referentes a cada sector, se destaca que se han tomado medidas para mitigar cualquier sesgo que pueda surgir debido a la relación laboral. Se ha garantizado por parte de los integrantes del equipo, así como el director del trabajo que el proyecto se realice de manera imparcial, para asegurar la objetividad de este.

## 4. HALLAZGOS

### 4.1. Indicadores de Cierre de Ciclo:

Según Thinkstep-ANZ (s.f.) el MCI es una métrica desarrollada por la Fundación Ellen MacArthur para medir el grado de "circularidad" de un producto o servicio. Indica qué tan bien evita el uso de materiales no renovables y la producción de desechos que no se pueden recuperar.

Se alinea con la norma ISO 59020 y utiliza un porcentaje simple de 0% (lineal) a 100% (totalmente circular).

La herramienta inicialmente requiere la información del producto a calcular su MCI y una breve descripción de este.



<b>Product:</b>	Biofertilizante NUTRIX_H
<b>Description:</b>	Biofertilizante Orgánico a base de subproductos resultantes del proceso de azúcar y alcohol de la caña de azúcar.
<b>Version:</b>	V1
<b>Tool Version:</b>	MCI Calculator thinkstep-anz 2024 (V1.0-Public)

1. En la primera parte de la herramienta, se describen cada uno de los componentes, la masa de cada uno (Mass Each) y se elige la unidad de medida (Tonnes) y la proporción de cada uno de los componentes.
2. **Resource Inflows:** En esta etapa se describe el flujo de recursos. Se describe el tipo de material (fertilizantes, biocombustibles, combustibles fósiles entre otras opciones que da la herramienta), posterior se describe la fuente si es de reúso, material virgen, remanente o reciclado y finalmente % Regenerative cuantifica el grado en que el recurso es regenerativo o renovable. 100%, significa que el recurso es completamente regenerativo o renovable, 0% si no es regenerativo en absoluto.

**3. Utility Based on (Basado en la utilidad):** Esta columna indica la base sobre la cual se calcula la "utilidad" o la función de la unidad de análisis. Puede ser:

- a. Mass (Masa) La utilidad se mide en términos de la masa del producto o material.
- b. Lifetime (Vida útil): La utilidad se mide en términos del tiempo de vida útil del producto.
- c. Lifetime & Mass (Vida útil y Masa): La utilidad considera ambos, el tiempo de vida útil y la masa.

**4. Lifetime Years (Años de vida útil):**

**L:** Representa la vida útil individual o de referencia en años para el producto o material en cuestión.

**L(av):** Vida útil promedio o disponible en años.

**5. Columna: Mass / tonnes**

**Mass:** Se refiere a la masa total del producto o componente, expresada en toneladas (tonnes). Es decir, cuánto pesa el producto tal como se fabrica.

**M:** Es la masa real del producto evaluado.

**M(av):** Es la masa promedio de productos similares en el mercado. Sirve como valor de referencia comparativo.

**6. Utility Function.** (Función de Utilidad): Es una descripción cualitativa y general del servicio que presta el producto o sistema durante su vida útil. Define cuál es su propósito funcional.

7. **Resource Outflows:** Se refiere al destino de los materiales al final del ciclo de vida del producto: qué parte se recolecta, cómo se gestiona, y adónde va. Evalúa la eficiencia de recuperación y reutilización de recursos.

8. **MCI y %MCI - MCI (Material Circularity Indicator):** Es un valor numérico entre 0 y 1 que representa el grado de circularidad de un producto. Un valor cercano a 1 indica que el producto es altamente circular (usa materiales reciclados, es duradero, reutilizable o reciclable). Un valor cercano a 0 sugiere un diseño lineal, con bajo reaprovechamiento de materiales.

**%MCI:** Es simplemente el MCI expresado como porcentaje.

9. **"Comprised of:"** Esto indica que el MCI total está compuesto por cuatro factores clave, los cuales se calculan y muestran en columnas:

**Raw Material Decoupling:** Mide cuánto el producto se desvía del uso de materiales vírgenes, un valor alto indica que se están usando más materiales reciclados o renovables, valor deseado: alto, cercano a 1.

**Waste Decoupling:** Mide qué tanto del producto, al final de su vida útil, evita convertirse en residuo, evalúa si los materiales se recuperan, reutilizan o reciclan, valor deseado: alto, si hay buena gestión postconsumo.

**Enhanced Utility:** evalúa si el producto tiene mayor vida útil o mejor desempeño funcional en comparación con el promedio de su categoría, aumenta si el producto es más duradero o útil por unidad de masa, valor deseado: alto, refleja eficiencia.

**Circularity Gap:** Es la porción del producto que aún no es circular, valor deseado: bajo (idealmente cercano a 0), **ayuda a identificar cuánto se podría mejorar la circularidad.**

Por último, **Assumptions / Notes (Supuestos / Notas)**, Es una columna textual donde se pueden registrar: supuestos utilizados para estimar datos (por ejemplo, vida útil, tasas de reciclaje), justificaciones o fuentes de datos, comentarios sobre decisiones de diseño circular o limitaciones la importancia: permite rastrear la lógica detrás de los datos numéricos, facilitando auditorías o revisiones futuras.

Durante la revisión de la herramienta del MCI, se visualiza, un avance claro en el cierre de brechas y cada uno de los materiales que componen un producto, partir del circular gap para revisar aguas arriba esos materiales o componentes que evitan llegar al 0, y lograr que el cierre de brechas sea menor cada vez.

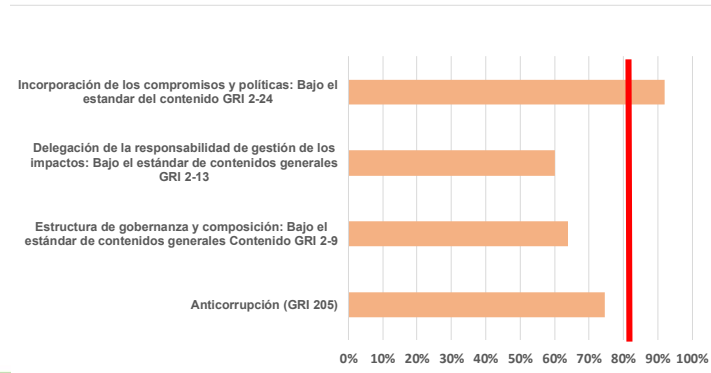
#### 4.2. Indicadores de Impacto:

Se formularon 185 preguntas asociadas y distribuidas en las tres dimensiones: Social, ambiental y de gobernanza, cada una de estas preguntas se responderá con base en la puntuación otorgada 5- La organización tiene la información y la gestiona, 3- La organización conoce la información, pero no la tiene documentada y 0- La organización no tiene la información ó N/A si no aplica el ítem para la organización.

UNIVERSIDAD EAFIT		
Indicadores de Impacto		
Impacto del Ciclo		
Dimensión	<p>El siguiente cuestionario de preguntas, fue construido basado en indicadores de impacto de ciclo con los estándares GRI, contestar, con base en la siguiente puntuación:</p> <p>(5) La organización tiene la información y la gestiona.            (3) La organización conoce la información pero no la tiene documentada y            (0) La organización no tiene la información            N/A No Aplica el ítem para la organización            ** Solo responda las celdas en blanco</p>	Calificación

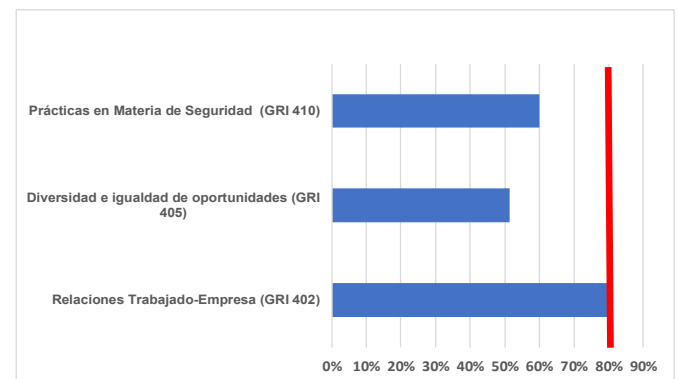
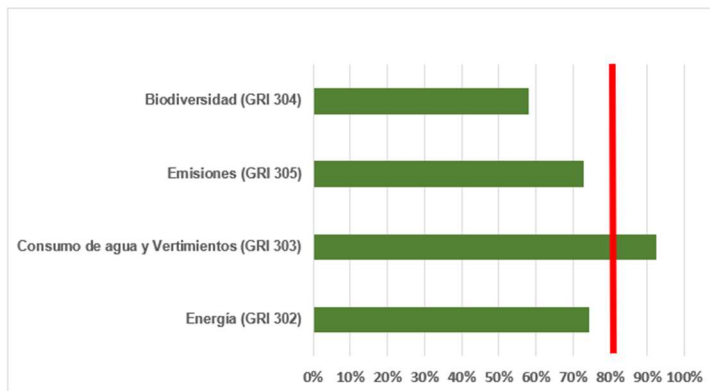
Una vez se respondan las preguntas asociadas a cada dimensión, se da un ponderado final de cada dimensión y los aspectos evaluados en cada uno de ellos, con el fin que la organización establezca sus metas alineadas a la estrategia de sostenibilidad que se plantee.

Gobernanza		
Anticorrupción (GRI 205)	75%	<b>73%</b>
Estructura de gobernanza y composición: Bajo el estándar de contenidos generales Contenido GRI 2-9	64%	
Delegación de la responsabilidad de gestión de los impactos: Bajo el estándar de contenidos generales GRI 2-13	60%	
Incorporación de los compromisos y políticas: Bajo el estándar del contenido GRI 2-24	92%	



Ambiental		
Energía (GRI 302)	74%	<b>74%</b>
Consumo de agua y Vertimientos (GRI 303)	92%	
Emisiones (GRI 305)	73%	
Biodiversidad (GRI 304)	58%	

Social		
Relaciones Trabajado-Empresa (GRI 402)	80%	<b>64%</b>
Diversidad e igualdad de oportunidades (GRI 405)	51%	
Prácticas en Materia de Seguridad (GRI 410)	60%	



Para el cierre de brechas se podrá revisar ítem por ítem para comprender los puntos donde habrá que trabajar para alcanzar las metas propuestas, estableciendo la ruta de trabajo y los alcanzables realizables a los que pueda llegar la organización; así tomando el ejemplo del ítem de biodiversidad, está en cumplimiento del 58%, y los

Ambiental	<b>Biodiversidad (GRI 304)</b>	29	<b>58%</b>
	Contenido 304-1 Sitios operacionales en propiedad, arrendados o gestionados ubicados dentro de o junto a áreas protegidas o zonas de gran valor para la biodiversidad fuera de áreas protegidas	0	
	Contenido 304-2 Impactos significativos de las actividades, productos y servicios en la biodiversidad	18	<b>51%</b>
	Contenido 304-3 Hábitats protegidos o restaurados	11	<b>73%</b>
	Contenido 304-4 Especies que aparecen en la Lista Roja de la IUCN y en listados nacionales de conservación cuyos hábitats se encuentren en áreas afectadas por las operaciones	0	

puntos a fortalecer son los subítems: 304-1 y 304-4, cuyas calificaciones están en cero e indican que la organización no tiene información al respecto.

## 5. CONCLUSIONES

- La herramienta de medición de circularidad desarrollada (basada en el enfoque del MCI y otros indicadores complementarios) hace parte de una solución efectiva para evaluar el grado de circularidad en los procesos y productos de la agroindustria, permitiendo una visión integral del desempeño ambiental bajo criterios ESG, siempre acompañada del despliegue de la estrategia de la compañía.
- La estructura de la herramienta y métricas permiten una identificación precisa de las "brechas de circularidad" en los materiales y componentes a lo largo de la cadena de valor de los productos agroindustriales, facilitando la comprensión de los puntos críticos que impiden alcanzar una circularidad plena y la mitigación de los riesgos identificados en los pilares ESG.
- La adaptabilidad de la herramienta al sector agroindustrial es un factor clave, ya que aborda las particularidades de este sector en términos de manejo de materiales, residuos y subproductos, ofreciendo un marco robusto para la transición hacia modelos de producción y consumo más circulares y sostenibles.
- La combinación de estándares internacionales (como la ISO 59020:2024) con metodologías reconocidas (Circulytics, MCI, Circularity Gap Report y GRI) aporta rigurosidad y comparabilidad al modelo propuesto, evidenciando su aplicabilidad en distintas realidades del sector agroindustrial.
- la herramienta no es un fin en sí mismo, sino el inicio de un proceso continuo de aprendizaje organizacional. Su implementación requiere un cambio cultural

profundo, una gobernanza basada en datos, y un compromiso transversal de los actores clave de la agroindustria. En este sentido, el verdadero valor de la herramienta reside en su capacidad de activar una transición estructural hacia una economía agroindustrial más circular.

## 6. CONTRIBUCIÓN A LOS ODS

**ODS 12: Producción y Consumo Responsables:** Este ODS es central para la economía circular. Una herramienta de medición ayuda a las empresas a gestionar sus recursos de manera más eficiente, reducir residuos y promover modelos de negocio más sostenibles.

**ODS 8: Trabajo Decente y Crecimiento Económico:** Al optimizar la gestión de recursos y reducir desperdicios a través de la circularidad, las empresas agroindustriales pueden lograr mayor eficiencia y competitividad económica. Esto puede llevar a un crecimiento económico más sostenible e inclusivo.

**ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura:** Al promover procesos industriales sostenibles y fomentar la innovación en modelos de negocio circulares (como economía de la funcionalidad, ecodiseño o simbiosis industrial), la herramienta impulsa el desarrollo de infraestructura resiliente y la adopción de tecnologías limpias. Además, al establecer un sistema de indicadores, crea una base robusta para la medición del desempeño de la innovación sostenible en la agroindustria.

**ODS 13: Acción por el Clima:** La implementación de principios de economía circular, facilitada por la herramienta, conduce a una reducción en la demanda de materias primas vírgenes y una menor generación de residuos que, de otra manera,

terminarían en vertederos, esto si se acompaña de la estrategia de la compañía impactar los pilares ESG.

**ODS 15: Vida de Ecosistemas Terrestres:** La reducción del consumo de recursos y la gestión sostenible de la agroindustria puede reducir la presión sobre los recursos naturales terrestres, como suelos, agua y biodiversidad. Una gestión más sostenible de los materiales y la minimización de residuos contribuyen a prevenir la degradación del suelo, la contaminación y la pérdida de hábitats, protegiendo y restaurando los ecosistemas terrestres afectados por prácticas productivas lineales.

## **7. IMPACTO DEL TRABAJO AL DESARROLLO SOSTENIBLE**

Diseño de una herramienta de medición de circularidad para la agroindustria bajo criterios ESG en el trabajo propuesto propone el desarrollo de una herramienta de medición de circularidad aplicada a la agroindustria, con el propósito de fortalecer la gestión sostenible alineada con los criterios ESG (ambientales, sociales y de gobernanza). La herramienta busca facilitar la transición desde modelos productivos lineales hacia esquemas circulares, promoviendo la eficiencia en el uso de recursos, la identificación de oportunidades de mejora y la toma de decisiones estratégicas basadas en información cuantitativa y cualitativa bajo los estándares disponibles.

Como resultado del trabajo, se estructuró una matriz que incluirá un banco de indicadores construidos a partir del enfoque del Material Circularity Indicator (MCI), complementados con indicadores complementarios de impacto.

La herramienta permitirá evaluar el nivel de circularidad en procesos y productos agroindustriales, ofreciendo una visión integral del desempeño ambiental, económico y social del sector. Su aplicación contribuirá directamente a la reducción

de impactos negativos, el aumento de la competitividad y la consolidación de una agroindustria más resiliente, innovadora y responsable.

Para estimar el valor generado por la implementación de esta herramienta, se aplicó la metodología del Retorno Social de la Inversión (SROI), que permite medir y monetizar los beneficios sociales, más allá del retorno financiero convencional. En este análisis se identificaron los siguientes componentes clave:

- Identificación de stakeholders relevantes
- Definición de estándares disponibles
- Valor estimado consultoría.
- Establecimiento de indicadores de impacto

En el supuesto de valoración del SROI, los cálculos se basaron en una inversión estimada de \$24.480.000 COP, correspondiente a la contratación de profesionales expertos en sostenibilidad y economía circular. Esta inversión se asocia directamente con el indicador clave definido.

- Porcentaje de criterios implementados que es el cumplen con los estándares sectoriales
- Proxi : Numero de estrategias definidas que impactan los pilares ESG.

Los usos potenciales de acuerdo a la evaluación SROI es la de visibilizar los impactos económicos derivados de la implementación de estrategias circulares, facilitando a las organizaciones agroindustriales una comprensión clara del retorno generado por sus inversiones en sostenibilidad.

Adicionalmente, esta medición apoya la toma de decisiones informadas dentro de las empresas, al demostrar que las estrategias de circularidad no solo mejoran el desempeño ambiental y social, sino que también fortalecen la viabilidad financiera a largo plazo.

En conjunto, este trabajo evidencia que el diseño e implementación de herramientas técnicas para medir la circularidad representa un componente esencial en la transición hacia modelos productivos sostenibles, y constituye una vía efectiva para construir ventajas competitivas bajo un enfoque integral de sostenibilidad.

## **8. BIOGRAFÍA DE LOS AUTORES Y DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

**Carlos Andrés Osorio Arboleda:** Nací en Fresno, Tolima, y crecí en Manizales, Caldas. Inicé mi formación en el SENA como tecnólogo en refrigeración, con patrocinio de la Federación Nacional de Cafeteros (FNC), donde obtuve mi primera oportunidad laboral en 2005. Posteriormente, estudié ingeniería industrial en la Universidad Tecnológica, lo que me permitió avanzar de un cargo técnico a uno administrativo. Más tarde, me especialicé en Alta Gerencia en la Universidad Nacional.

En mi cargo administrativo, pude adquirir una visión más integral de la FNC y comprender cómo la organización y desde mi labor aportó para mejorar la calidad de vida de los caficultores y sus familias.

Dado que la misión de la FNC es implementar iniciativas que aseguren el acceso a educación, salud y un entorno laboral seguro y justo para las comunidades caficultoras de Colombia. Su enfoque social, junto con un compromiso ambiental, promueve la sostenibilidad de manera integral, impactando positivamente la vida de los caficultores, sus familias y el desarrollo del país.

Cuento con 17 años de experiencia en el sector agrícola y he liderado proyectos claves en la FNC, como la implementación de la metodología TPM en Buencafé Liofilizado, formación virtual con la Fundación Manuel Mejía para operadores

industriales del área de refrigeración, y el desarrollo de competencias laborales con el SENA para operadores y técnicos de mantenimiento, la movilización de la cultura organizacional y la implementación de prácticas y programas ambientales. Actualmente, lidero el Sistema de Gestión de la FNC.

**LinkedIn:** [https://www.linkedin.com/in/carlos-andr%C3%A9s-osorio-arboleda-273a52182?utm\\_source=share&utm\\_campaign=share\\_via&utm\\_content=profile&utm\\_medium=ios\\_app](https://www.linkedin.com/in/carlos-andr%C3%A9s-osorio-arboleda-273a52182?utm_source=share&utm_campaign=share_via&utm_content=profile&utm_medium=ios_app)

**Correo electrónico:** caosorioa1@eafit.edu.co

**Katerine Naranjo Santa:** Nací Dosquebradas, Risaralda, allí me crié y fui a la Universidad Tecnológica de Pereira, inicié Tecnología Química y fui becada para estudiar en México en la Universidad Tecnológica de Huejotzingo, estando allí terminé materias para acceder al título de Química pura, desarrollé mi trabajo de investigación en aguas residuales, regresé a Colombia y continué estudiando Ingeniería Industrial en la Universidad Tecnológica de Pereira.

A lo largo de 10 años he estado en diferentes industrias del sector químico, farmacéutico y agroindustrial, donde me he desempeñado en cargos de calidad y producción, actualmente lidero los sistemas de gestión del Ingenio Risaralda una empresa del sector agroindustrial, apostando cada día por proyectos que tengan un impacto social y ambiental para nuestras partes interesadas, el más reciente proyecto fue la implementación de una PTARI para el tratamiento biológico de las aguas residuales industriales, donde se tienen oportunidades de manejo del biogás que sale de este sistema, también, apoyo el inventario y verificación de gases efecto invernadero para la organización, lo que permite evaluar impactos y tomar decisiones estratégicas para la compañía.

Apuesto por un lugar más sostenible en donde nos desarrollemos a la par con cada una de las partes interesadas.

**LinkedIn:** [https://www.linkedin.com/in/katerine-naranjo-3904091b1?utm\\_source=share&utm\\_campaign=share\\_via&utm\\_content=profile&utm\\_medium=android\\_app](https://www.linkedin.com/in/katerine-naranjo-3904091b1?utm_source=share&utm_campaign=share_via&utm_content=profile&utm_medium=android_app)

**Correo Electrónico:** [knaranjos@eafit.edu.co](mailto:knaranjos@eafit.edu.co)

**Camilo Polanco López de Mesa:** Líder experto en sostenibilidad estratégica para la adaptación al cambio climático en las organizaciones. Con más de 20 años de experiencia académica e investigativa en temas como educación, economía circular, sostenibilidad. Profesor de pregrado y postgrado de varias universidades públicas y privadas. Con varios títulos de postgrado como Master of Science en Medio Ambiente y Desarrollo de la UNAL, un MBA de la U Eafit, y un Master en Sostenibilidad, ESG y Economía Circular de la Universidad Europea de Madrid. Ha tenido varios cargos directivos en la Alcaldía de Medellín, Grupo EPM, Grupo Postobón, Universidad de Medellín entre otros. Amante de la bici y un buen café.

**LinkedIn:** <https://www.linkedin.com/in/camilo-polanco-lópez-de-mesa-5b78a549>

**Correo Electrónico:** [cpolanco@hotmail.com](mailto:cpolanco@hotmail.com)

## 9. AGRADECIMIENTOS Y RECONOCIMIENTOS

Queremos expresar nuestros más sinceros agradecimientos a las personas e instituciones que han sido pilares en el desarrollo de esta tesis de maestría.

A nuestro director de tesis, Camilo Polanco, por su acompañamiento constante, su mirada crítica y su experiencia en sostenibilidad y economía circular. Su capacidad para integrar distintas perspectivas, así como su enfoque riguroso y humano, fueron clave para consolidar una propuesta académica robusta, pertinente y alineada con los retos actuales del desarrollo sostenible.

A las agroindustrias donde laboramos los tesisistas, han abierto un campo de estudio y desarrollo con los pilares de circularidad y su aporte en la sostenibilidad.

A nuestras familias, parejas, amigos y compañeros de maestría, por su respaldo incondicional durante este proceso académico y personal. Su paciencia, motivación y confianza han sido la energía que sostuvo cada etapa de este camino.

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Circle Economy & Deloitte. (2024). *The Circularity Gap Report 2024*. Circle Economy. <https://www.circularity-gap.world>.

Comisión Europea, Dirección General de Medio Ambiente, Plan de acción para la economía circular 2020 : aspectos internacionales, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, 2020, <https://data.europa.eu/doi/10.2779/69223>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *Estrategia nacional de economía circular*. <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/estrategia-nacional-de-economia-circular/>

Ellen MacArthur Foundation. (n.d.). *What is the linear economy?* Retrieved November 27, 2018, from <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/what-is-the-linear-economy>

Santander. (2023, enero 5). *Economía lineal y circular: ¿a qué se refieren cada uno de estos términos y cuáles son sus diferencias?* <https://www.santander.com/es/stories/economia-lineal-y-circular-a-que-se-refieren-cada-uno-de-estos-terminos-y-cuales-son-sus-diferencias>

Ellen MacArthur Foundation. (n.d.). *Circular economy diagram*. Recuperado el November 27, 2024, de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram>.

Ellen MacArthur Foundation. (2014). *Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition* (Vol. 1). Ellen MacArthur Foundation.

Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>

Vera-Acevedo, L. D., & Raufflet, E. (2022). Análisis de la Estrategia Nacional de Economía Circular de Colombia a partir de dos modelos. *Estudios Políticos (Medellín)*, 64, 27–52. <https://doi.org/10.17533/udea.espo.n64a02>

Rosero, J; Jajoy, J; Mendoza, J; Segura, J y Arciniegas, N. (2024). Diseño de un modelo de economía circular para el proceso de producción de la Industria Licorera del Valle.

Medina Abad, J., & Freire Pesántez, A. (2023). Barreras para la implementación de la economía circular en países en vías de desarrollo. *Estudios de La Gestión: Revista Internacional de Administración*, 14, 99–121. <https://doi.org/10.32719/25506641.2023.14.6>

Gutiérrez León, R. I. (2022). Aplicación de Modelos de Economía Circular en México y Colombia: Estudio de caso. *Interconectando Saberes*, 14, 203–218. <https://doi.org/10.25009/is.v0i14.2762>

Ellen MacArthur Foundation. (2020). Circulytics: Measuring circularity. <https://ellenmacarthurfoundation.org/resources/circulytics-measuring-circularity>

Ellen MacArthur Foundation. (2015). Circularity Indicators: An Approach to Measuring Circularity. <https://ellenmacarthurfoundation.org/circularity-indicators-an-approach-to-measuring-circularity>

De, L., Bueno De Melo, P., & Luiz Da Silva, C. (2022). *Níveis de implementação da economia circular: micro, meso e macro RESUMO*. <https://orcid.org/0000-0002-4074->

Marcus Linder, Mats Williander, (2017). Circular Business Model Innovation: Inherent Uncertainties. <https://doi.org/10.1002/bse.1906>.

Elia, V., Gnoni, M. G., & Tornese, F. (2016). Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2741–2751. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.196>

Moraga, G., Huysveld, S., Mathieux, F., Blengini, G. A., Alaerts, L., van Acker, K., de Meester, S., & Dewulf, J. (2019). Circular economy indicators: What do they measure? *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 452–461. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.045>

Saidani, M., Kim, H., Cluzel, F., Leroy, Y., & Yannou, B. (2020). Product circularity indicators: what contributions in designing for a circular economy? *Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference*, 1, 2129–2138. <https://doi.org/10.1017/dsd.2020.76>

Vayona, A., & Demetriou, G. (2020). Towards An Operating Model for Attribution in Circular Economy. *Proceedings - 16th Annual International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems, DCOSS 2020*, 490–495. <https://doi.org/10.1109/DCOSS49796.2020.00082>

Oliveira, M., Miguel, M., van Langen, S. K., Ncube, A., Zucaro, A., Fiorentino, G., Passaro, R., Santagata, R., Coleman, N., Lowe, B. H., Ulgiati, S., & Genovese, A. (2021). Circular Economy and the Transition to a Sustainable Society: Integrated Assessment Methods for a New Paradigm. *Circular Economy and Sustainability*, 1(1), 99–113. <https://doi.org/10.1007/s43615-021-00019-y>

Anna M. Walker, K. O. E. R. L. A. S. W. J. V. V. A. R. (2021). *Assessing the social sustainability of circular economy practices: industry perspectives from Italy and the Netherlands*. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.01.030>

Saidani, M., Yannou, B., Leroy, Y., & Cluzel, F. (2017). How to assess product performance in the circular economy? Proposed requirements for the design of a

circularity measurement framework. *Recycling*, 2(1).  
<https://doi.org/10.3390/recycling2010006>

Sánchez Ramírez, J. E. (2020). La Revista Ingeniería y Región cuenta con la Licencia Creative Commons Atribución (BY), No Comercial (NC) y Compartir Igual (SA). In *Revista Ingeniería y Región* (Vol. 25). [https://youtu.be/RstFV\\_n6wRg](https://youtu.be/RstFV_n6wRg)

International Organization for Standardization. (2024). *ISO 59020:2024 Circular economy — Measuring and assessing circularity performance*. ISO

Trejos Salazar, D., Carmona Herrera, K., & Duque Hurtado, P. (2023). Mapeo científico de la investigación mundial en economía circular y desarrollo sostenible. *Desarrollo Gerencial*, 15(2). <https://doi.org/10.17081/dege.15.2.6335>

Colombia productiva. (2020). Guía empresarial de economía circular. Colombia: Fiduciaria Colombiana de Comercio Exterior S.A. –FIDUCOLDEX. Recuperado de <https://www.colombiaproductiva.com/ptp-capacita/publicaciones/transversales/guia-empresarial-de-economia-circular/200310-cartilla-economia-circular>

Organización de Naciones Unidas [ONU], 2015. GOAL 12: Sustainable consumption and production: Data and statistics / Facts and figures. Recuperado de <https://www.unep.org/explore-topics/sustainable-development-goals/why-do-sustainable-development-goals-matter/goal-12>

Vera-Acevedo, L. D., & Raufflet, E. (2022). Análisis de la Estrategia Nacional de Economía Circular de Colombia a partir de dos modelos. *Estudios Políticos (Medellín)*, 64, 27–52. <https://doi.org/10.17533/udea.espo.n64a02>

Cho Pan, L. (2022). *TAXONOMÍA VERDE DE COLOMBIA*.

Medina Abad, J., & Freire Pesántez, A. (2023). Barreras para la implementación de la economía circular en países en vías de desarrollo. *Estudios de La Gestión: Revista Internacional de Administración*, 14, 99–121. <https://doi.org/10.32719/25506641.2023.14.6>

Superintendencia Financiera de Colombia, Ministerio de Hacienda y Crédito Público, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Departamento Nacional de Planeación, & Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2022). *Taxonomía Verde de Colombia*. Bogotá, Colombia: Superintendencia Financiera de Colombia.

Rodríguez-Valencia, N. (2023). *Aplicación de la bioeconomía circular en el proceso de beneficio de café con cero residuos: Cenicafé*. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0032>

Díaz-De Los Ríos, M. (n.d.). *Icidca sobre los derivados de la caña de azúcar ¿Diversificación o economía circular, un nuevo paradigma?*

Jesus, G. M. K., Jugend, D., Paes, L. A. B., Siqueira, R. M., & Leandrin, M. A. (2023). Barriers to the adoption of the circular economy in the Brazilian sugarcane ethanol sector. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 25(2), 381–395. <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02129-5>

Eccles, R. G., Ioannou, I., & Serafeim, G. (2012). *The impact of corporate sustainability on organizational processes and performance*. National Bureau of Economic Research

Ellen MacArthur Foundation. (2019). *Circularity Indicator Methodology*. Ellen MacArthur Foundation.

Elia, V., Gnoni, M. G., & Tornese, F. (2017), *Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis*. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2741-2751.

Manninen, K., Koskela, S., Antikainen, R., Bocken, N., Dahlbo, H., & Aminoff, A. (2018), *Do circular economy business models capture intended environmental value propositions?* *Journal of Cleaner Production*, 171, 413-422.

Geng, Y., Fu, J., Sarkis, J., & Xue, B. (2012), *Towards a national circular economy indicator system in China: an evaluation and critical analysis*. *Journal of cleaner production*, 23(1), 216-224.

Smol, M., Kulczycka, J., & Avdiushchenko, A. (2017), *Circular economy indicators in relation to ecoinnovation in European regions*. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19(3), 669-678.

Serna de la Garza, J. M. (2010), *El concepto de gobernanza*. En: *Globalización y gobernanza: Las transformaciones del estado y sus implicaciones para el derecho público* (pp. 21-51). Recuperado de: <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/6/2818/5.pdf>.

IBEC (2019), "New Ibec survey shows just half of businesses understand the Circular Economy", <http://www.ibec.ie/connect-and-learn/media/2019/08/14/new-ibec-survey-shows-just-half-of-businesses-understand-the-circular-economy> (accessed on 4 August 2020).

(2020), *The OECD Inventory of Circular Economy Indicators*. 1 – 57.

Ellen MacArthur Foundation. (2014), *Towards the circular economy. Economic and business rationale for an accelerated transition*. *Journal of Industrial Ecology*.

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. (2017), *The Circular Economy—A new sustainability paradigm?* *Journal of cleaner production*, 143, 757-768.

World Economic Forum. (2019), *Circular Economy and Material Value Chains*. Tomado de: <https://www.weforum.org/projects/circular-economy>.

CENICAÑA, A. L. M. (2024). *Webinar\_Economía circular COP16*. Seminario: *¿Porque somos un modelo de economía Circular?*

Hoof, B. van, Núñez, G., & de Miguel, C. (2022). *Metodología para la evaluación de avances en la economía circular en los sectores productivos de América Latina y el Caribe*. [www.cepal.org/apps](http://www.cepal.org/apps)

Vargas, Y. & L. Pérez. (2018), Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de ciencias Básica*. 1(1). 1-14.

*Núñez Méndez María del Pilar Ruiz Molina Julieth Andrea Parra Hincapié Miguel Ortiz, J. (2018). ESTUDIO SOBRE EL IMPACTO SOCIOECONÓMICO DEL SECTOR AGROINDUSTRIAL DE LA CAÑA EN COLOMBIA ESTUDIO SOBRE EL IMPACTO SOCIOECONÓMICO DEL SECTOR AGROINDUSTRIAL DE LA CAÑA EN COLOMBIA.*

*ASOCAÑA, Loaiza, D., De, J., & Ambiental, G. (2024). Equipo Editorial CLAUDIA XIMENA CALERO Presidenta de Asocaña.*

Tecnicaña, C. (2024, 5 junio). Producción de Etanol a partir de la Caña de Azúcar en Colombia: el gasohol o alcohol carburante. Tecnicaña. <https://tecnicana.org/2024/06/10/sostenibilidad/produccion-de-etanol-a-partir-de-la-cana-de-azucar-en-colombia-avances-y-perspectivas/?v=42983b05e2f2>

ASOCAÑA. (2024). Informe Anual de ASOCAÑA -2023 2024. <https://www.asocana.org/modules/documentos/3/369.aspx>

Rodríguez-Valencia, N. (2023). Aplicación de la bioeconomía circular en el procesode beneficio de café con cero residuos: Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0032>

Rodríguez-Valencia, N. (2023). Aplicación de la bioeconomía circular en el proceso de beneficio de café con cero residuos. In *Aplicación de la bioeconomía circular en el proceso de beneficio de café con cero residuos*. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0032>

*Rodríguez-Valencia, N., Zambrano Franco, D. A., & Ramírez, C. A. (2013). Manejo y disposición de los subproductos y de las aguas residuales del beneficio del café. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura (Vol. 3, pp. 111–136). Cenicafé; 31. [https://doi.org/10.38141/cenbook-0026\\_31](https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_31)*

Buitrago, J., Calle, H., Gallo, J. T., & Corso, M. A. (1970). Evaluación de la melaza de café en dietas para cerdos en crecimiento y acabado. *Revista ICA*, 5(4), 407–410

Rodríguez, N., & Zambrano, D. A. (2011). Producción de alcohol a partir del mucílago de café. *Revista Cenicafé*, 62(1), 56–69. <http://hdl.handle.net/10778/496>

Rodríguez, N., & Zambrano, D. A. (2010). Los subproductos del café: Fuente de energía renovable. *Avances Técnicos Cenicafé*, 393, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0393>

Ortiz, A. (2012). Extracción y caracterización de metabolitos secundarios con capacidad antioxidantes presentes en frutos y subproductos de la cosecha de café y cacao [Tesis de maestría]. Universidad de Antioquia.

Montilla, J. (2006). Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café [Tesis de pregrado]. Universidad de Caldas

Zeledón, J. D., Gahona, J. J., Herrera, J., & Dicovski, L. M. (2017). Macetas biodegradables de cascarilla de café para la producción de plántulas de hortalizas, Estelí, Nicaragua. *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, 7(1), 18–25. <https://doi.org/10.5377/elhigo.v7i1.8617>

Oliveros, C. E., Sanz, J. R., Ramírez, C. A., & Peñuela, A. (2009). Aprovechamiento eficiente de la energía en el secado mecánico del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 380, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0380>

Vargas-García, Y., Pazmiño-Sánchez, J., & Dávila-Rincón, J. (2021). Potencial de Biomasa en América del Sur para la Producción de Bioplásticos. Una Revisión. *Revista Politécnica*, 48(2), 7–20. <https://doi.org/10.33333/rp.vol48n2.01>

Arellano, M. A., Ramírez-Coronel, M. A., Torres-Mancera, M. A., Pérez-Morales, G., & Saucedo-Castañeda, G. (2011). Antioxidant Activity of Fermented and Nonfermented Coffee (*Coffea arabica*) Pulp Extracts. *Food Technology and Biotechnology*, 49(3), 374–378. [https://www.ftb.com.hr/images/pdf/articles/2011/July-September/ftb\\_49\\_374.pdf](https://www.ftb.com.hr/images/pdf/articles/2011/July-September/ftb_49_374.pdf)

Villa, A. C., da Silva, R. C., Delforno, T. P., Centurion, V. B., Kimiko, I., de Oliveira, V. M., Silva, E. L., & Varesche, M. B. A. (2019). Hydrogen, alcohols and volatile fatty acids from the co-digestion of coffee waste (coffee pulp, husk, and processing wastewater) by applying autochthonous microorganisms. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44 (39) 21434–21450. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.06.115>

Sierra, J., Roque, H., & Medrano, J. (2013). *Aprovechamiento de la cascarilla de café en la elaboración de materiales de construcción. Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, 3(1), 7–9. <https://doi.org/10.5377/elhigo.v3i1.8636>

Tibaduiza, C. A. (2023). *Observaciones del uso de la chipeadora BEAR CAT FC400 para el astillado de tallos de zoca de café [Informe Técnico]. Cenicafé. Disciplina Poscosecha*

Mateus, D. P., Morales, J. A., & Barreto, W. (2018). *Estructura En Madera de Coffea Arábica Para Construcciones en Bahareque [Tesis de pregrado, Universidad La Gran Colombia]*. <https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/4375>

International Organization for Standardization. (2024). *ISO 59020:2024 — Circular economy — Measuring and assessing circularit performance*. <https://www.iso.org/standard/59020>

Bochkay, K., Hales, J., & Serafeim, G. (2025). Disclosure standards and communication norms: evidence of voluntary sustainability standards as a coordinating device for capital markets. *Review of Accounting Studies*. <https://doi.org/10.1007/s11142-025-09882-8>

Rodríguez-Guerra, L. C., & Ríos-Osorio, L. A. (2016). EVALUACIÓN DE SOSTENIBILIDAD CON METODOLOGÍA GRI // EVALUATION OF SUSTAINABILITY USING GRI METHODOLOGY // AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE COM METODOLOGIA GRI. *Dimensión Empresarial*, 14(2), 73–90. <https://doi.org/10.15665/rde.v14i2.659>

Carney, M. M. (2017). *Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures i Letter from Michael R. Bloomberg*.

Torres García, B. (2023). *Desarrollo de calculadoras de circularidad y su aplicación a la compra verde en el campus* [Trabajo de Fin de Máster, Universidad Politécnica de Madrid]. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (UPM)

Thinkstep-ANZ. (s.f.). *Calculadora de indicador de circularidad de materiales (MCI)*. Recuperado de <https://www.thinkstep-anz.com/services/circular-economy/material-circularity-indicator-mci-calculator/>

## **11. APÉNDICES.**

**Anexo 1. Infográfico**

**Anexo 2. Modelo para el sector del café**

**Anexo 3. Modelo para el sector de caña de azúcar**

**Anexo 4. MCI-Calculator-thinkstep-anz-2024**

**Anexo 5. Matriz Genérica**