

Costos y decisiones financieras asociadas a la transición de economía lineal a circular en la producción de envases. El caso de Ecuador

Maribel Rosero-Rosero¹, Carlos Clemente Rosero-Rosero² & Maribel Pinargote-Yépez³

PALABRAS CLAVE

costo del ciclo de vida,
economía circular,
ecoeficiencia, envases
flexibles, reciclaje

CLASIFICACIÓN JEL

D51, M14, L65

RECIBIDO

24/03/2024

APROBADO

20/08/2024

PUBLICADO

01/10/2024

SECCIÓN

Finanzas

Esta obra se publica bajo una licencia Creative Commons Atribución-No_Comercial-Sin_Derivadas 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)

Resumen: Las empresas desempeñan un papel fundamental en el desarrollo, producción y consumo, pero su modelo de producción genera enormes cantidades de residuos plásticos que crecen exponencialmente superando la capacidad global de gestión de residuos y reciclaje. Este modelo tradicional, basado en extraer, hacer y desechar, involucra uso ilimitado de recursos que derivan en problemas económicos y ambientales. La investigación se centra en el contexto ecuatoriano, y se enfoca en analizar y comparar los costos de la transición de una economía lineal a circular en dos escenarios de fabricación: i) envases flexibles de polietileno con material virgen y ii) mezcla de materiales, así como su relación con las decisiones financieras. Además, se evalúan los indicadores de circularidad y ecoeficiencia, y se proyectan datos para evaluar el impacto a nivel del Ecuador. La metodología utilizada fue costos de ciclo de vida. Los resultados revelan que los costos de producción en el modelo lineal superan en 18% con relación a la fabricación circular. Desde la perspectiva ambiental, se observa un incremento del 46% de consumo de energía y mayor uso de agua derivado del proceso de reciclaje. En resumen, la producción con sistema circular demuestra ser más viable económica y ambientalmente en comparación con el modelo lineal.

Citación sugerida: Rosero-Rosero, M., Rosero-Rosero, C., & Pinargote-Yépez, M. (2024). Costos y decisiones financieras asociadas a la transición de economía lineal a circular en la producción de envases. El caso de Ecuador. *Innovar*, 34(94). e116818. <https://doi.org/10.15446/innovar.v34n94.116818>

COSTS AND FINANCIAL DECISIONS ASSOCIATED WITH THE TRANSITION FROM A LINEAR ECONOMY TO A CIRCULAR ECONOMY IN PACKAGING PRODUCTION: THE CASE OF ECUADOR

Abstract: Businesses play a critical role in development, production, and consumption. However, their production model generates enormous amounts of plastic waste that are growing exponentially, surpassing the global capacity for waste management and recycling. This traditional model, based on the principles of extraction, production, and disposal, involves unlimited resource use, thus leading to economic and environmental problems. This research focuses on the Ecuadorian context and aims to analyze and compare the costs associated with transitioning from a linear economy to a circular economy in two manufacturing scenarios: (i) flexible polyethylene packaging with virgin material and (ii) a mix of materials, as well as their

¹ M. Sc. en Gestión de proyectos. Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. Grupo de investigación GIPERSOEC (Grupo de Investigación Perspectiva Socio económica). Rol del autor: intelectual. pmrosoro@utn.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0001-8140-6739>.

² Lic. en Mercadotecnia. Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. Rol del autor: comunicativo. caserjar@hotmail.com; <https://orcid.org/0009-0004-4331-0911>.

³ M. Sc. en Marketing, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. Grupo de investigación en Marketing Innova. Rol del autor: comunicativo. impinargote@utn.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0002-6261-5591>.

relationship with financial decisions. Additionally, the study evaluates circularity and eco-efficiency indicators and projects data to assess the impact at the national level. The methodology employed was life cycle costing. The results show that production costs in the linear model exceed those in the circular model by 18%. From an environmental perspective, there is a 46% increase in energy consumption and greater water use resulting from the recycling process. In summary, production using a circular system proves to be more economically and environmentally viable compared to the linear approach.

Keywords: Life cycle costing, circular economy, eco-efficiency, flexible packaging, recycling.

CUSTOS E DECISÕES FINANCEIRAS ASSOCIADOS À TRANSIÇÃO DE ECONOMIA LINEAR PARA CIRCULAR NA PRODUÇÃO DE EMBALAGENS: CASO EQUADOR

Resumo: As empresas desempenham um papel fundamental no desenvolvimento, na produção e no consumo, mas seu modelo de produção gera enormes quantidades de resíduos plásticos que crescem exponencialmente e superam a capacidade global de gestão de resíduos e reciclagem. Esse modelo tradicional, baseado em extrair, fazer e eliminar, envolve o uso ilimitado de recursos que resultam em problemas econômicos e ambientais. A pesquisa se centra no contexto equatoriano e tem como foco a análise e a comparação dos custos da transição de uma economia linear para circular nos dois cenários de fabricação: i) embalagens flexíveis de polietileno com material virgem e ii) mistura de materiais, bem como sua relação com as decisões financeiras. Além disso, avaliam-se os indicadores de circularidade e ecoeficiência e projetam-se dados para avaliar o impacto no Equador. A metodologia utilizada foi custos de ciclo de vida. Os resultados revelam que os custos de produção no modelo linear são 18% superiores à fabricação circular. A partir da perspectiva ambiental, observa-se um aumento de 46% do consumo de energia e um maior uso de água derivado do processo de reciclagem. Em resumo, a produção com sistema circular mostra ser econômica e ambientalmente mais viável em comparação com o modelo linear.

Palavras-chave: custo do ciclo de vida, economia circular, ecoeficiência, embalagens flexíveis, reciclagem.

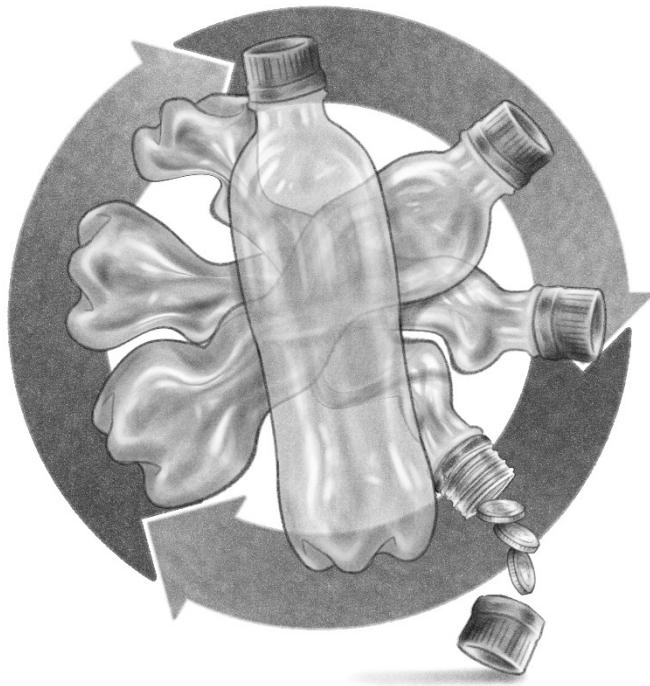
INTRODUCCIÓN

Las micro, pequeñas y medianas empresas (en adelante, mipymes) tienen una importante participación en el tejido empresarial de los países. El conjunto empresarial del Ecuador lo forma el 99,55% de mipymes, de los cuales el 90,78% corresponde a microempresas, mientras que las pequeñas representan el 7,22% y las medianas apenas el 1,55% (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2018a; Sumba et al., 2022). Esto evidencia la importancia de este sector como elemento dinamizador del desarrollo económico, social y ambiental.

Sin embargo, apenas el 20% de las empresas ecuatorianas cuenta con programas ambientales dirigidos principalmente a tratamiento de agua residual, reducción de contaminación, reciclaje y conciencia social (Bravo Donoso & Morocho, 2018). Solamente el 2,21% cuenta con certificación ISO 14001 (INEC, 2018b). Pocas son las industrias que vinculan el crecimiento económico con el cuidado ambiental y deciden invertir sus recursos financieros en nuevos modelos de negocios de economía circular. La mayoría de los empresarios desconocen los beneficios económicos, sociales y ambientales de esta tendencia empresarial.

Los modelos de producción tradicionales elaboran y consumen recursos ilimitados que provocan un desequilibrio entre lo que extraen y retornan a la naturaleza, pues el uso desmedido de energías fósiles, la generación de residuos contaminantes y los escasos procesos de reutilización, reciclaje o neutralización originan impactos ambientales que causan escasez, pérdida de materia prima, riesgos en la salud e inequidad.

Es así como los modelos de producción lineal con flujos de material unidireccional a largo plazo se vuelven insostenibles e impulsan a los empresarios a tomar decisiones financieras para replantear los modelos tradicionales por otros más sustentables, de alto valor añadido y una adecuada gestión de residuos (Da Silva et al., 2023).



En el mismo contexto, las empresas contaminan el ambiente con gran cantidad de residuos derivados del empleo de plásticos, cuyo uso se limita a unos 20 minutos, en tanto que el periodo de degradación natural es de 200 años (Ayalon et al., 2009). La mayoría de estos envases flexibles de polietileno de un solo uso o comúnmente conocidas como fundas plásticas de acarreo se usan para proteger o transportar el producto, luego se descartan y terminan en rellenos sanitarios o directamente en ambientes terrestres o acuáticos que causan un grave impacto en el medio ambiente. A nivel mundial, la tasa de recuperación y reciclaje es menor al 10%, por lo que cada año ingresan al medio ambiente aproximadamente 22 megatoneladas (Landrigan et al., 2023) y de estas únicamente el 9% de los envases flexibles de polietileno son reciclados (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE], 2023).

En este sentido, es crucial mantener el equilibrio entre el crecimiento empresarial y el impacto ambiental. Hay alternativas de solución, siendo una de las más aceptadas la circularidad y ecoeficiencia, que armonizan entre los intereses económicos de los empresarios, los nuevos hábitos de consumo del cliente, la preservación de los recursos naturales y el decrecimiento de la contaminación. De acuerdo con la experiencia de algunas empresas, los negocios que tienen integradas en sus actividades la economía circular y ecoeficiencia son más rentables y competitivos, ya que establecen tácticas empresariales eficaces de reúso y reciclaje (Wang, 2020).

De la misma manera, al basarse en la eficiencia, la ecoeficiencia busca un equilibrio entre el uso y optimización de recursos priorizando el tratamiento de residuos urbanos e industriales y adopta sistemas de producción más limpia y productos de mayor utilidad (Amate, 2020; Ghisellini et al., 2016). La ecoeficiencia es un enfoque empresarial preventivo que ayuda a identificar estrategias y decisiones financieras para mejorar la selección de materias primas, agua, energía, así como también la disminución de los elevados costos ambientales (Bjørnbet et al., 2021) y simultáneamente mejorar la estructura de costes de los productos tanto en su calidad como en su funcionalidad (Topleva & Tsvetko Velchev, 2020).

El estudio analiza y compara los costos económicos y ambientales de la transición de una economía lineal a una circular y su relación con las decisiones financieras y económicas en la fabricación de dos productos y sistemas de producción observados en una empresa de Quito, Ecuador. Por un lado, se estudia la elaboración de envases flexibles de polietileno con material virgen en una producción lineal y, por otra, la producción de envases flexibles de polietileno con materia prima reciclada y materia virgen.

En la revisión literaria realizada en la base de datos Scopus de los últimos seis años (2019-2024), se encontraron 53 publicaciones relacionadas con gestión de reciclaje de residuos (Armenise et al., 2021), evaluación del ciclo de vida (Arcentales-Bastidas et al., 2022; Avadí et al., 2015), economía circular y desarrollo sustentable (Garabiza et al., 2021; Hidalgo-Crespo et al., 2020; Ordoñez-Iturralde et al., 2024; Salinas Herrera et al., 2023; Sucozhañay et al., 2022). A pesar del creciente interés en economía circular, como lo mencionan Korhonen, Nuur, et al. (2018), aún falta investigar en mayor profundidad los “conceptos, unidades de análisis” y no se conocen estudios empresariales, de gestión o sobre los costos de transición de una economía lineal a una economía circular, lo que evidencia una brecha en la literatura actual.

Los artículos existentes han abordado temas sobre los beneficios ambientales y las ventajas de la economía circular en términos generales. Existen pocos estudios sobre costes de flujos de materiales (Aranda-Usón et al., 2024) y estos no se ha centrado específicamente en el análisis detallado de los costos asociados a las implicaciones económicas a corto o largo plazo para las empresas que desean adoptar modelos circulares de producción. Esta carencia de investigación impide una comprensión clara de cómo las empresas pueden manejar los costos de transición, los beneficios económicos y ambientales del proceso transformador.

Al cuantificar la reducción en el uso de materia prima virgen, los costos de gestión de residuos, las necesidades de inversión en tecnología limpia y sustentables; la investigación proporcionará un marco integral que demuestre cómo la toma de decisiones estratégicas en la producción de envases puede simultáneamente reducir costos, mejorar el ambiente y generar ingresos en un mercado de constante evolución. Asimismo, podría incentivar la reutilización, recuperación de desechos y gestión de residuos visto como una oportunidad de negocio y generación de empleo (Kolade et al., 2024).

Además de la introducción, el artículo está estructurado en cuatro secciones: a continuación, se presenta la revisión literaria de los conceptos y aplicación de la economía circular en el contexto empresarial a nivel internacional y dentro del ámbito ecuatoriano, y se analiza la transición de una economía lineal a circular y su relación en la fabricación de los envases plásticos, con lo cual se respalda teóricamente el desarrollo de la investigación; después, se detalla la metodología implementada en la investigación con la finalidad de cumplir el objetivo propuesto, para lo cual se explican y desarrollan los pasos explícitos del método de costo

de ciclo de vida, así como también se definen los indicadores de circularidad y ecoeficiencia para los dos productos y sistemas de producción; posteriormente, se exponen los resultados y discusiones sobre las estimaciones de los costos de la transición de la economía lineal a circular, se calculan los indicadores de ecoeficiencia y circularidad de la empresa analizada, y se proyectan los posibles impactos dentro de la economía ecuatoriana; finalmente, se presentan las conclusiones establecidas en el estudio.

REVISIÓN DE LA LITERATURA

Economía circular

La economía circular nació ante la creciente necesidad de enfrentar los diversos problemas ambientales (Homrich et al., 2018), derivados del enorme crecimiento económico de varios sectores (Yuan et al., 2008) vinculados con la sobreexplotación de recursos naturales, generación descontrolada de desperdicios y comportamiento de consumidores sin conciencia social ni ambiental. Este conjunto de factores evidenció la insostenibilidad de los modelos tradicionales lineales (Frosh & Gallopos, 1989, citados por Korhonen, Honkasalo et al., 2018), ya que la producción habitual origina residuos y subproductos que podrían regresar al ciclo productivo o natural, pero contrariamente son enviados a su eliminación por procesos controlados de incineración o descarte a los basureros (Espaliat, 2017).

En las últimas décadas, la economía circular se ha convertido en un enfoque crucial para enfrentar los desafíos ambientales, económicos y como herramienta que influye directamente en las transformaciones de las industrias (Korhonen, Nuur et al., 2018), ya que es promovida como una estrategia empresarial innovadora para abordar la escasez de los recursos limitados mediante la ecoeficiencia y la mejora de la productividad (Yuan et al., 2008), así como la reducción de insumos, la reutilización, la remanufactura, la reparación, el reciclaje de residuos, la mejora de productos, componentes, materiales y el empleo de fuentes de energía limpia y sostenible (Homrich et al., 2018; Korhonen, Nuur et al., 2018). Según la Fundación Ellen MacArthur (2015), la economía circular representa una importante fuente de oportunidades ambientales y económicas para el sector privado y empresarial.

Sin embargo, no todos los empresarios han aceptado este reto para enfrentar el problema de responsabilidad económica, social y ambiental. Según los datos publicados en el sexto informe sobre la brecha de circularidad mundial, se observa una disminución del índice de circularidad del 1,8% en 2023 en comparación con el 9,1% registrado en 2018 (Circle-Economy-Foundation, 2023). Esto indica que la transición hacia modelos circulares es un proceso complejo, ya que requiere cambios en el modelo empresarial y la adopción de estrategias a nivel productivo, laboral y de consumo. Además, es necesario contar con un entorno favorable, impulsado por políticas públicas que promuevan la transformación (Arinas, 2019; The World Business Council for Sustainable Development [WBCSD], 2022).

Economía Circular desde la perspectiva empresarial

Según Lieder y Rashid (2016), la relación entre el sector empresarial y el medio ambiente es vital para el funcionamiento adecuado de la industria, ya que los impactos en el medio ambiente han presionado sobre

estas. Desde la revolución industrial, la producción masiva de productos ha generado un crecimiento significativo en las operaciones industriales, lo que ha resultado en un aumento de emisiones, generación de residuos y la expansión de vertederos, lo que pone en peligro la limitada disponibilidad de recursos.

En solución a este reto, la economía circular se basa en reducir, reutilizar, rehacer y rediseñar con el menor uso de recursos no renovables y económicos, sin que esto signifique baja calidad de la materia prima; por el contrario, se busca obtener productos con mayor valor, durabilidad y producidos con optimización energética y reducción de costos (Korhonen, Nuur, et al., 2018). Un elemento importante en la gestión de recursos del entorno empresarial es el incremento de la eficiencia de los recursos por medio de flujos circulares de materiales y mejora del reciclaje (Haupt & Hellweg, 2019).

La transición de una economía lineal a circular involucra cambios en diferentes áreas. Inclusive en algunas ocasiones se necesita modificar e innovar en los negocios; diseñar productos duraderos y sustentables; organizar la cadena de suministro, y controlar los impactos económicos y ambientales (Asif et al., 2016). Las empresas deben concebir la transformación como un cambio sistemático para afianzar su gestión (Kirchherr et al., 2017), además de complementarse con estrategias integrales, políticas y regulaciones gubernamentales e interorganizacionales.

Las organizaciones que incorporen la economía circular dentro de sus procesos se benefician de la reducción de uso de materia virgen, de la disminución de costos de los recursos, del menor consumo de energía, de los limitados costos de reciclaje y de la reducción de los impactos ambientales; además, promueve nuevas oportunidades de ampliación en empresas nacionales e internacionales (Korhonen, Honkasalo, et al., 2018).

Indicadores para evaluar circularidad

Los indicadores de circularidad son factores clave en la cuantificación del éxito en la aplicación de estrategias de circularidad (Bahramimianrood et al., 2024). En este mismo contexto, la transición de una economía lineal a una economía circular requiere de información medible que evalúe el rendimiento circular, consumo de materiales, riesgos y valores agregados. El Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD, por sus siglas en inglés) creó indicadores cuantitativos de transición circular (CTI, por sus siglas en inglés) que valoran la circularidad y el desempeño económico de la empresa. Estas métricas se centran en los flujos de materiales que van desde la adquisición hasta la recuperación (WBCSD, 2022). Sin embargo, los indicadores deben complementarse con mediciones y objetivos ambientales para garantizar que la economía sea circular y sustentable (Haupt & Hellweg, 2019).

De acuerdo con la características, metodología y perspectivas de evaluación, los indicadores pueden clasificarse en tres grupos: i) eficiencia de los recursos, ii) existencias y flujos de materiales y iii) centrado en los productos (Parchomenko et al., 2019). Dentro de estos grupos, el análisis de flujo de materiales y la evaluación del ciclo de vida sobresalen como indicadores eficaces para comparar la circularidad de productos, empresas y países, (Ghisellini et al., 2018; Haas et al., 2015; Haupt & Hellweg, 2019), así como también como herramientas de toma de decisiones financieras y ambientales.

Envases plásticos y economía circular

El uso de plástico ha beneficiado a la humanidad debido a su versatilidad, pero en la actualidad se ha convertido en uno de los principales contaminantes ambientales. Según autores como Cabernard et al. (2022) o Stegmann et al. (2022), el plástico provoca aproximadamente el 4,5% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente por la combustión de carbón que se realiza para su producción. Esta producción ha aumentado casi 230 veces desde 1950 hasta 2019, partiendo de una producción de 2 millones de toneladas hasta alcanzar 460 millones de toneladas, de las cuales entre el 35% y el 40% son utilizadas una sola vez (Landigan et al., 2023).

La contaminación por plásticos no es un hecho reciente o aislado, sino un problema que afecta a nivel mundial, lo cual hace imprescindible que la economía lineal de hacer-tomar-desechar sea cambiada por estructuras de industriales y modelos de negocio de economía circular que creen, obtengan, concedan y capturen valor de forma más fácil e idónea (Kolade et al., 2024).

La economía circular es un tema global, por lo que analizar datos de otros países permite entender cómo diferentes regiones implementan estrategias. Estados Unidos tiene empresas en todo el mundo, cuyas decisiones y regulaciones a menudo tienen repercusiones en otros países y dan un enfoque completo; de ahí la necesidad de exponer datos económicos y ambientales. En este sentido, en los vertederos estadounidenses se estima que el valor de los envases de basura asciende a 11.400 millones de dólares, de los cuales 8.300 millones corresponden a residuos plásticos. Considerando esto, el reciclaje de plástico no solo puede generar ahorros económicos, sino también energéticos.

En relación con el consumo energético, se puede ahorrar 130 gigajulios (GJ) de energía por tonelada en comparación con la creación de nueva materia prima. Según los informes, si toda la basura plástica generada en el mundo pudiera reciclarse, se podría ahorrar una cantidad equivalente a 3.500 millones de barriles de petróleo, lo que representaría un ahorro aproximado de 176.000 millones de dólares (calculados a 50 dólares por barril) (Rhodes, 2018).

Es importante mejorar el ciclo de vida de los plásticos (Prata et al., 2019). Para esto, una alternativa es la elaboración de plásticos reciclados, pues a diferencia de los plásticos vírgenes presentan beneficios a nivel ambiental y social (Singh & Ruj, 2015). Adicionalmente, se puede pasar de una economía lineal a una circular en la que se busca disminuir la cantidad de materiales vírgenes, eliminando el principio de la economía lineal que se reconoce en plásticos de bajo valor, bajo costo y corta vida útil (European Environment Agency, 2021).

Costos de transición de economía lineal a circular

La transición hacia la economía circular requiere cambiar profundamente el sistema económico actual, que está arraigado a un modelo lineal insostenible. Este modelo se ha estabilizado debido a factores como las economías de escala y los costos hundidos. Estos costos dificultan la transición a nuevos modelos circulares debido a la existencia de inversiones previas en maquinaria, infraestructura y habilidades que ya no se pueden recuperar. Los cambios a un sistema circular inicialmente generan bajo rendimiento financiero debido a la alta inversión que necesita (Liu & Kringos, 2024).

Dicho esto, para que las empresas puedan incorporar la economía circular se debe incluir herramientas contables de costes de flujos de materiales para que reflejen el cierre de bucles de materiales, inventarios y recursos (Aranda-Usón et al., 2024). Los costos totales de producción están conformados mayoritariamente por los costos de materiales y energía, por lo que las empresas ponen especial énfasis para incrementar su eficiencia (Schmidt et al., 2015). El análisis de los costos es primordial para las empresas, ya que les permite tomar decisiones de costos iniciales y costos de ciclo de vida.

Costos de ciclo de vida

Con base en Bradley et al. (2018), la economía circular es una combinación de economía, medio ambiente y sociedad, planteamiento que estudia el agotamiento de los recursos y convierte el desperdicio como un “activo económico”. Dentro de la evaluación ambiental, la industria acepta la metodología de la evaluación del ciclo de vida como valida. En el marco económico se emplea el costo de ciclo de vida.

El costo de ciclo de vida consiste en el análisis económico para evaluar el costo total y especifica el costo incremental total estimado de diseñar, producir, usar y retirar un producto, de tal forma que provee información integral de los costos incurridos en cada etapa. Esta visión analítica es clave para identificar oportunidades y desafíos de los modelos económicos circulares (Chakravorti, 2024; Zhang et al., 2024). Además, se puede utilizar como herramienta en la toma de decisiones, para lo cual debe focalizarse en los “hechos, el dinero y el tiempo” (Heralova, 2017).

METODOLOGÍA

Inicialmente, se recopilaron datos económicos sobre costos incurridos en la producción de los envases flexibles de plástico identificados en una empresa de la ciudad de Quito, Ecuador, con el objetivo de analizar y comparar los costos de transición de la economía lineal a circular y su relación en la toma de decisiones financieras. Para ello, se tomó como base dos productos específicos: i) envases flexibles de polietileno o fundas plásticas con material virgen y ii) la combinación entre materia prima virgen y reciclada. Igualmente, se utilizó fuente primaria por medio de la técnica cualitativa de recopilación de datos por medio de entrevista a profundidad dirigida a funcionarios de la empresa, con la que se obtuvo información valiosa sobre procesos, costos, políticas de producción, proveedores, canales de distribución, gestión y tratamiento de residuos. Asimismo, se obtuvieron datos económicos para establecer el impacto en el rendimiento financiero y ambiental como resultado de la toma de decisión clave en la transición de la producción lineal a circular. Además, se consultaron fuentes secundarias en sitios oficiales con datos y estadísticas correspondientes al entorno ecuatoriano.

Este estudio sintetizó los datos utilizando el método de costo de ciclo de vida, una herramienta estandarizada internacionalmente y empleada en investigaciones previas, como las realizadas por Bradley et al., (2018), Heralova (2017), Chakravorti (2024), Zhang (2024), Arenas (2024), Mendoza et al. (2019b) y Swarr et al. (2011). Este método se consideró apropiado para analizar los costos de cada etapa de ciclo de vida y de la gestión de residuos de fundas plásticas. Esta metodología proporciona una visión integral de los costos

y beneficios asociados con el uso y disposición final de los envases flexibles de polietileno, lo que podría guiar la toma de decisiones financieras empresariales.

La aplicación de la metodología es consistente con estudios anteriores como el de Mendoza et al. (2019a), y sigue las directrices de las normativas e instrucciones de las normativas ISO 14040:2006, ISO 14044:2006 e ISO 14045:2012 (Arenas et al., 2024; Hala et al., 2024; Mendoza et al., 2019b; Miyoshi & Secchi, 2024; Snyder & Park, 2024; Swarr et al., 2011).

La información proporcionada por el Gerente General de la Empresa (comunicación personal, agosto 2023) permitió estimar los costos de ciclo de vida asociados a la economía lineal y circular. Estos datos fueron fundamentales para construir el inventario de ciclo de vida y los costos de la gestión de residuos. Además, se consultaron fuentes secundarias, incluyendo sitios oficiales con valores y estadísticas preponderantes para el contexto ecuatoriano, con lo cual se fortaleció el análisis y contextualización de los hallazgos. Una vez consolidados los datos, se determinaron los indicadores de circularidad y ecoeficiencia de la empresa en estudio. A continuación, se consultó información del Ecuador y se proyectaron algunos valores y cifras a nivel de nacional.

Al emplear el método de costo de ciclo de vida (LCC, por sus siglas en inglés) se sigue las directrices de Swarr (2011), Mendoza et al. (2019b) y las normativas ISO 14040:2006, ISO 14044:2006 e ISO 14045:2012. Los investigadores deben definir claramente su alcance e identificar los parámetros relevantes de acuerdo con los objetivos y contexto de análisis. En el presente estudio se han establecido la siguiente estructura:

- Objetivos y alcance
- Unidades funcionales
- Descripción del proceso de fabricación
- Estimación de costos de ciclo de vida;
- Análisis y supuesto del inventario
 - materias primas
 - fabricación de envases flexibles
 - transporte
 - gestión de residuos
- Categorías de evaluación de impacto
- Producción y consumo anual en el contexto geográfico nacional.

Objetivo y alcance

Los objetivos y alcance del costo de ciclo de vida son los siguientes:

1. Analizar y comparar los costos en la producción de envases flexibles de polietileno con materia prima virgen y combinada.
2. Evaluar el impacto mediante el uso indicadores la ecoeficiencia y circularidad.
3. Calcular los costos anuales de fabricación de fundas plásticas a escala industrial analizada y a nivel de Ecuador.

El alcance del estudio es desde la cuna hasta la tumba, sin incluir el uso de los envases flexibles, puesto que los dos productos cumplen el mismo fin.

La unidad funcional de análisis

Para cumplir con el objetivo uno y dos del costo de ciclo de vida, la unidad funcional se estableció como la producción y uso de un millar de envases flexibles de polietileno con material virgen y mixta. La producción se lleva a cabo en un minuto y treinta tres segundos y la tecnología es propia de las industrias más representativas del Ecuador. En cambio, la unidad funcional para el objetivo tres se definió a diferentes escalas de fabricación anual.

Descripción de los procesos de fabricación

Para determinar el LCC, inicialmente se consideró el ciclo de vida de un empaque flexible de polietileno de alta densidad con las siguientes características: tipo camiseta, pigmentada en color negro sin impresión, Código P7, dimensiones: ancho 16,5 cm largo 19,75 cm, espesor 0,48 cm. A partir de dos flujos de materiales, el primer enfoque es de corte lineal caracterizado por extracción de materias primas hasta el descarte. El segundo enfoque es circular, definido por adquisición de materias primas hasta el reciclaje, bajo el supuesto de que la circularidad permite ahorrar materias primas debido al reciclaje y reutilización de residuos (Moins et al., 2020).

La adquisición la materia prima se explica en resumen en el flujo de proceso de la figura 1; la materia prima virgen viene de distintas partes del mundo. Existen varios proveedores que son seleccionados en función de las leyes de oferta y demanda del mercado. Los pellets de polietileno de alta densidad frecuentemente se importan desde Estados Unidos y China. Los granulados ingresan a la tolva y continúan a la máquina extrusora que cuenta con un sistema automático y proceso continuo de producción. Se establecen los parámetros y especificaciones de los pedidos de envases flexibles de polietileno, tales como brillo, textura y resistencia; en este caso, se analizó el empaque flexible tipo t-shirt o camiseta, color negro, sin impresión.

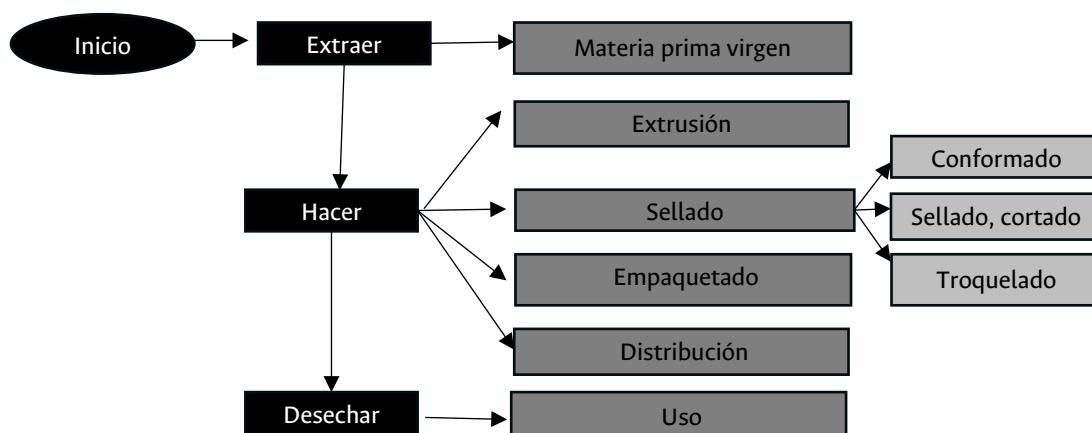


Figura 1. Flujo de producción con materia prima virgen y mixta. **Fuente:** elaboración propia.

Cabe destacar que la producción del empaque flexible con material virgen y combinado (material virgen + reciclado) comparten un mismo proceso específico: extrusamiento, aplanamiento y bobinado realizado por una sola máquina extrusora; después, pasa a la selladora: conformado, cortado, sellado, troquelado, doblado en paquetes. A continuación, un obrero empaca en bultos de mil unidades; terminado este proceso, se almacena y distribuye.

En la economía circular, se deben incorporar dos etapas adicionales previas a empezar el proceso estándar. En la primera fase, se procesa el material de desperdicio y posconsumo empleando una máquina recicladora, lo que permite obtener los pellets que serán unidos a la materia prima virgen y colocados en la extrusora para continuar la fabricación de envases flexibles. En la segunda fase, se lleva a cabo el tratamiento de aguas contaminadas, que resultan de la operación de reciclaje. Esta acción es realizada por la misma empresa con el objetivo de reducir costos económicos y ambientales. El agua es descontaminada y vuelve a recircular para integrarse nuevamente a las actividades de lavado de scrap o trapo de basura plástica.

Estimación de los costos de ciclo de vida

Para determinar el LCC de envases flexibles de polietileno, se adaptó la fórmula propuesta en la investigación de Mendoza et al. (2019):

$$\text{LCC} = \text{cmp} + \text{cf} + \text{ctt} + \text{cgrr} \quad (1)$$

En la ecuación 1, cmp es el costo de materia prima, incluido embalaje; cf es el costo de fabricación: operación, mantenimiento y mano de obra; ctt es el costo de transporte totales (proveedores a planta de producción, distribución a clientes, otros) y cgrr son los costos de gestión de residuos y reciclaje.

Análisis y supuestos del inventario

Los costos para envases de polietileno con materia prima y combinación con material reciclado se presentan en las tablas 1 y 2. Los costos de producción y de gestión de residuos han sido proporcionados por funcionario de la empresa, que corresponden al 2023 y al contexto ecuatoriano.

Tabla 1.

Inventario de ciclo de vida y costos.

Etapas del ciclo de vida	Procesos y materiales	Requerimiento Producción 1.000 envases flexibles de polietileno	Costo unitario dólares	Proceso 1 materia virgen	Proceso 2 material virgen y reciclado)
Materia prima	Pellet: polietileno alta densidad uso general (pellet) por kg	4,88	1,35	6,59	0,00
		1,47	1,35	0,00	1,98
	Materia prima reciclada reutilización (desperdicio troqueladora 8%)	0,39	0,00	0,00	0,00
	Materia prima reciclada posconsumo	3,03	0,60	0,00	1,82

(Continúa)

Etapas del ciclo de vida	Procesos y materiales	Requerimiento Producción 1.000 envases flexibles de polietileno	Costo unitario dólares	Proceso 1 materia virgen	Proceso 2 material virgen y reciclado)
	Aditivos: antioxidante y deslizante	2,5% por kilo	4,50	0,55	0,55
	Pigmento negro	3% por kilo	4,50	0,66	0,66
Fabricación	Extrusor (100 kg/hr, 45 kWh)	2,20	0,09	0,20	0,20
	Conformadora, selladora (250 golpes por minuto), troqueladora (bloques de 50 fundas)	2,00	0,09	0,18	0,18
Mano de obra	Una persona para controlar 5 extrusoras (tiempo completo, salario básico: USD 450)	2,93	0,03	0,09	0,09
	Una persona para controlar conformadora y selladora	4,00	0,03	0,13	0,13
	Una persona para operar montacargas	2,00	0,03	0,06	0,06
Transporte	Materia prima: camiones de 25 toneladas una vez al mes (USD 300 por viaje)	4,88	0,01	0,06	0,06
	Producto final	4,88	0,01	0,06	0,06
Gestión de residuos: reciclaje	Proceso de reciclaje: desperdicio normal del proceso de troquelado (8%)	0,39	0,25	0,00	0,10
	Tratamiento de reciclaje posconsumo	3,03	0,25	0,00	0,77

Nota. * Datos presentados en la producción de un millar de envases de polietileno. **Fuente:** elaboración propia.

Materia prima

Para valorar el costo de la materia prima en la producción de 1.000 envases flexibles de polietileno: P7 negra, sin impresión, tipo camiseta, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Peso: } A \cdot L \cdot e \cdot K \quad (2)$$

En la ecuación 2, A es la altura más el fuelle lateral; L es el largo; e corresponde al espesor; y K es la constante (0,0312); el costo es el peso por el precio del kilogramo de pellets. Las pérdidas propias de la fabricación son del 8% (Gerente-general, 2023), residuos o scrap que son recolectados en gaylords (contenedores de tela) para reutilizarse.

Fabricación de envases flexibles

Los recursos y costos inherentes al proceso de fabricación fueron costos de energía calculados en relación con el consumo de electricidad de los equipos y los precios vigentes en empresas eléctricas ecuatorianas: USD 0,09/kWh (Ministerio-de-Energía-y-Minas-Ecuador, 2022). En los costos de mantenimiento, se consideran las revisiones periódicas, lubricantes, cambio de piezas y limpieza de componentes, que es realizado por personal propio de la empresa. Estos se realizan de acuerdo con la programación establecida para evitar pares del proceso productivo e incumplimientos de pedidos.

Por concepto de mano de obra, se cancelan USD 450 mensuales. Dentro de las funciones que realizan están el despacho de materias primas y supervisiones vinculados al área de producción; la jornada laboral es

de 8 horas diarias y se trabaja en turnos rotativos. Esto asegura una producción continua que permite cumplir con la planificación de fabricación y la demanda del producto.

Transporte

En lo referente al transporte, las materias primas se transportan desde el puerto de Guayaquil hasta la planta industrial ubicada a 377 km. Para optimizar los costos y tiempos, se envían productos terminados desde Quito hasta el punto de entrega en las instalaciones de Guayaquil y, viceversa, desde esta ciudad se retorna a Quito con materia prima. El costo por viaje es de USD 300 y los vehículos tienen una capacidad de carga de 25 toneladas, de donde el costo por kilo transportado es de USD 0,012. Cabe indicar que no se incurre en gastos de transporte de material reciclado, ya que los proveedores lo entregan directamente en las instalaciones de la empresa.

Gestión de residuos

Para la gestión de residuos, los costos asociados corresponden a reciclaje por reutilización de desperdicio interno de la empresa y la adquisición de material posconsumo. Las estimaciones y cálculos se describen en la tabla 2.

Tabla 2.

Costos de gestión de residuos, reutilización y reciclaje.

Etapas gestión de reciclaje	Procesos y materiales	Requerimientos unitarios	Costo unitario	Reciclaje posconsumo
Materia prima	Material posconsumo	3,03	0,60	1,
	Material reutilizado	0,39	-	-
	Total materia prima	3,42		1,82
Reciclaje (100 kg/h)	Trituración (44 kWh)	0,44	0,09	0,13
	Lavado (m ³)	0,12	0,72	0,09
	Decantación (7,4 kWh)	0,07	0,09	0,02
	Centrifugado (11 kWh)	0,11	0,09	0,03
	Secado (47 kWh)	0,47	0,09	0,14
	Extrusión (45 kWh)	0,45	0,09	0,14
	Peletizadora (37 kWh)	0,37	0,09	0,11
Mano de obra	Un obrero alimenta el proceso	1,82	0,03	0,06
	Un obrero controla la máquina	1,82	0,03	0,06
Costos indirectos	Depreciación de máquina por minuto	0,54	0,05	0,08

Nota. * Para el cálculo de la depreciación se considera el valor de USD 250.000 que procede de la adquisición de una máquina recicladora; el porcentaje de depreciación fijado es del 10%. La mano de obra es pertinente al pago a obreros que laboran 8 horas diarias cada turno; se operativizan tres turnos por día y se trabaja siete días a la semana. En cambio, los costos de consumo de agua son USD 0,72 por metro cúbico según rige para el sector industrial del Ecuador (INEC, 2023). **Fuente:** elaboración propia.

Categorías de evaluación del impacto

En cuanto a las categorías de impacto, y en concordancia con el objetivo dos del costo de ciclo de vida, se definieron indicadores de ecoeficiencia y circularidad. La ecoeficiencia es una métrica que evalúa y compara los ciclos de vida de los productos o procesos de fabricación, con la finalidad de alcanzar un equilibrio entre lo económico y lo ambiental. Para precisar los indicadores de ecoeficiencia y circularidad, se utilizaron los lineamientos del modelo UNCTAD (Rincón & Wellens, 2011). Según la metodología, para calcular el componente de valor neto agregado, se procede con las siguientes variables:

$$Vagn = I - C - D - T \quad (3)$$

En la ecuación 3, I corresponde al ingreso; C , al costo; D , a la depreciación, y T , al impuesto. Para los cálculos de este caso de investigación en particular, se considera un precio de venta de USD 1,20 el ciento de fundas. Asimismo, el consumo de agua por unidad de valor agregado neto se presenta en la ecuación 4. En la ecuación 5, se expone la pérdida de agua por tratamiento de descontaminación. Por otra parte, la ecuación 6 permite determinar los requerimientos energéticos por unidad de valor neto agregado. Además, la ecuación 7 calcula la tasa de reciclaje

$$I1 = \frac{\text{consumo de agua}}{\text{valor neto agregado}} \quad (4)$$

$$Pa = \text{Agua del proceso reciclaje} - \text{Agua proceso de tratamiento} \quad (5)$$

$$I2 = \frac{\text{requerimientos energéticos}}{\text{valor neto agregado}} \quad (6)$$

$$tr = \frac{\text{material reciclado}}{\text{material producido}} * 100 \quad (7)$$

Producción y consumo anual en el contexto geográfico nacional

En el Ecuador, la industria de plástico está compuesta por aproximadamente 600 empresas que producen 500.000 toneladas anuales, contribuyendo con un 2% al producto interno bruto (PIB), es decir, unos USD 2.100 millones. El consumo per cápita de plásticos alcanza los 20 kilogramos (INEC, 2023; Mórtola, 2022; “La industria del plástico...”, 2018). Por otro lado, el consumo por persona de fundas plásticas tipo camiseta (envases flexibles de polietileno) asciende a 130 fundas, lo que equivale a 1.500 millones de fundas al año o a USD 18 millones (Ministerio del Ambiente Agua Transición Ecológica, 2014).

Para evaluar el impacto de la producción y consumo anual de fundas plásticas en Ecuador, se utilizaron como referencia los datos publicados por diferentes instituciones estatales y los informes de Productos Paraíso del Ecuador (2022), una destacada fábrica en el sector industrial que abarca tanto la elaboración como el reciclaje de plásticos en el país. Con base en esta información, se realizaron proyecciones sobre las implicaciones económicas y ambientales asociadas a la producción y consumo de envases flexibles de polietileno en el Ecuador. La base de los cálculos es la información que se encuentra en el inventario de ciclo de vida y gestión de residuos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se exponen los principales resultados de la investigación. Para dar respuesta al objetivo, se realiza un análisis descriptivo de las etapas que se establecieron en el costo de ciclo de vida; posteriormente, se cuantificaron los rubros relacionados, por un lado, con la producción de envases flexibles con material virgen y combinación de material virgen y reciclado y, por otro, con el sistema tradicional y circular. Con los datos obtenidos se procedió a comparar los costos de transición de una economía lineal a una circular y las decisiones financieras que giran en torno a esta dinámica empresarial.

Análisis y comparación de los costos de ciclo de vida para fabricar 1.000 envases

El costo de ciclo de vida de 1.000 envases flexibles de polietileno con materia virgen es de USD 8,57, mientras que para los envases de material virgen y reciclado se estima en USD 6,65, lo que representa un ahorro de USD 1,92 dólares estadounidenses o el equivalente al 22,4%. Los datos evidencia que la economía circular puede disminuir los costos y lograr eficiencia de los recursos por medio de flujos circulares, lo que concuerda con lo manifestado por Korhonen, Nuur, et al. (2018) y Haupt y Hellweg (2019).

Como se observa en la figura 2, la materia prima es el rubro más alto de la producción en los dos sistemas. En la producción de envases flexibles con materia virgen la materia prima asciende a USD 7,8, a diferencia de la producción con material combinado que es de USD 5,01. En términos porcentuales, el consumo de materiales en el primer caso es de 91% frente a 75,33% del segundo caso. Otro valor relevante corresponde a los costos por gestión de residuos por un valor de USD 0,87, presente únicamente en el proceso con mezcla de materiales y corresponde al 13% del costo total de la producción. Los resultados de esta investigación confirman lo expuesto por Schmidt et al. (2015): los costos totales de producción están compuestos principalmente por los costos de los materiales.

En referencia a los resultados de reciclaje, se llega a establecer que los plásticos con materia reciclada tienen mayor beneficio económico igual a lo expresado por Singh y Ruj (2015) y la European Environment Agency (2021).

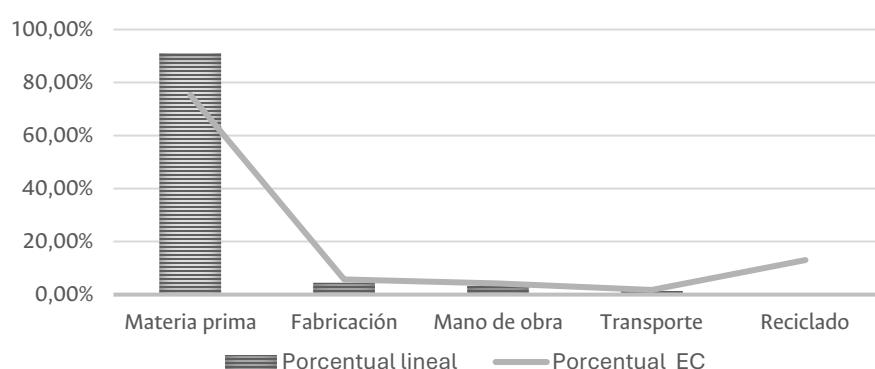


Figura 2. Análisis y comparación de costos economía lineal vs economía circular. **Fuente:** elaboración propia.

Los resultados obtenidos a través del LCC evidencian que la transición de economía lineal a circular conlleva una disminución de los costos asociados a la adquisición de materiales derivada principalmente de prácticas efectivas de reciclaje, así como también una reducción significativa de gastos relacionados con el transporte.

Indicadores de ecoeficiencia y circularidad

Como se observa en la figura 3, los resultados del indicador de requerimientos energéticos por unidad de valor agregado en la economía circular revelan que, por cada 1,55 kWh, se obtiene USD 1 de valor agregado neto. Este indicador es inferior en la economía lineal, lo que sugiere una mayor ecoeficiencia en el manejo de este recurso. Los datos de la presente investigación contradicen lo descrito por Korhonen, Honkasalo et al. (2018), quienes mencionan que las empresas que implementen economía circular tendrán un menor consumo de energía.

Los datos del indicador de reciclaje muestran que en la economía lineal no se tienen datos para establecer el indicador a diferencia de la economía circular, cuyo valor es del 70% de material reciclado e incorpora nuevamente al proceso de producción. Este porcentaje está compuesto por 8% de residuos propios de la empresa (Gerente-general, 2023) y por 62% de material recuperado de posconsumo. Esto denota mayor circularidad en la fabricación de envases flexibles con mezcla de materiales y reducción de uso de material virgen. Estos datos son similares a lo encontrado en la investigación Korhonen, Honkasalo et al. (2018), Singh y Ruj (2015) y la Agencia Europea de Medio Ambiente (2021). Desde la perspectiva ambiental, cuanto más se reúse, menor es la contaminación por residuos plásticos, lo cual coincide con estudios de otros autores como Mendoza et al (2019a).

Los resultados del cálculo del indicador de agua por el valor agregado neto indican que en la economía lineal es nulo; en cambio, en la economía circular, por cada 0,3 litros de agua, la empresa genera USD 1 de valor agregado neto. Estos datos corroboran las expresiones de Lieder y Rashid (2016), sobre la presión de las empresas en el medio ambiente. Asimismo, en este mismo contexto, se confirma que implementar la economía circular en las empresas no implica un sacrificio financiero ni económico o pérdida de competitividad para la empresa (Cuzzuol, 2010).

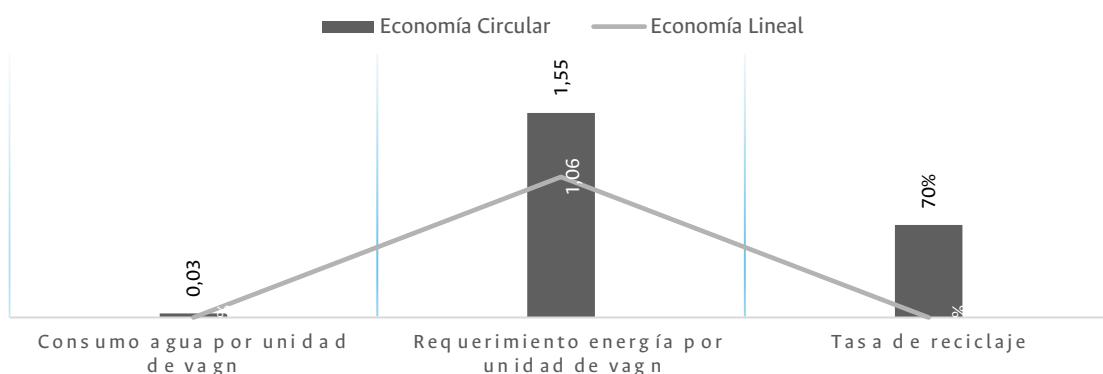


Figura 3. Indicadores de ecoeficiencia y circularidad en una economía lineal y circular. **Fuente:** elaboración propia con base en modelo UNCTAD (Rincón & Wellens, 2011).

Proyección de costos anuales en el Ecuador

La economía circular en el Ecuador es relativamente reciente. Según Salinas Herrera et al. (2023), los principales ejes sobre los cuales se basa la circularidad son producción sostenible, consumo sostenible, gestión integral de residuos sólidos y políticas de financiamiento. Si bien es cierto que el gobierno ecuatoriano mide la producción verde con indicadores de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal), estos no son suficientes para evaluar la circularidad. La economía circular tiene como objetivo maximizar el valor de los recursos, minimizar la generación de residuos y promover prácticas sostenibles en los sectores productivos. Por lo tanto, Ecuador aún no ha promulgado políticas explícitas de economía circular y tampoco ha asignado recursos suficientes a las iniciativas circulares.

Los resultados de esta investigación en el entorno ecuatoriano a nivel nacional han demostrado que la economía circular consume en mayor cantidad el agua y la energía eléctrica. La producción de 1.500 millones de fundas con el enfoque circular representa ingresos para el estado provenientes de los siguientes rubros: impuestos por cerca de USD 2 millones; venta de energía equivalente a USD 824.000; consumo de agua por USD 130.000. En contraposición, en la fabricación de envases únicamente con materia prima virgen, el estado percibiría por impuestos USD 1,3 millones y por consumo de agua 567 mil dólares. En síntesis, la fabricación en el modelo circular genera ingreso al país en valor superior al 58% en relación con la economía tradicional.

Dentro de la misma línea de análisis, si se observan los datos de la tabla 3, se puede notar que en la economía circular el uso de materia prima virgen se reduce en 70%, porcentaje que es consistente con lo establecido en la legislación ecuatoriana. Dicha normativa exige que la fabricación de la producción de fundas de polietileno de un solo uso debe incluir por lo menos el 60% de material reciclado posconsumo (Ley orgánica para la racionalización, reutilización y reducción de plásticos de un solo uso, 2020). La políticas y normativas del Ecuador impulsan la adopción de mecanismos de reducción de contaminación y la transición de una economía lineal a una circular. Como resultado, en los modelos de economía circular se obliga a descontaminar el ambiente por medio de la reutilización. En este mismo contexto, las cifras revelan que la producción de fundas con material reciclado evita que 5.124 toneladas de material posconsumo vayan a vertederos o contaminen fuentes de agua limpias.

Tabla 3.

Consumo de recursos a nivel nacional.

Componente	Lineal	Circular
Materia prima (t)	7.320	2.196
Material reciclado (t)		5.124
Energía mega (MW)	6.294	9.155,65
Agua (m ³)		1,80E+05

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

El análisis comparativo de los costos de ciclo de vida entre la economía circular y la economía lineal en la producción de envases de plástico con materia virgen y materia combinada (virgen y reciclado) revela que,

aunque la transición inicial hacia un modelo circular implica la adquisición de tecnología para reciclar, acondicionar y ampliar las instalaciones, los beneficios a largo plazo pueden recuperar la inversión inicial y superarla.

Los costos de las materias primas en los dos modelos representan el costo más alto en los costos totales de producción total, siendo más bajo en un 36% en la economía circular. El consumo de energía es superior en la economía circular debido a la adquisición de la máquina recicladora y como consecuencia de la implementación de la gestión de residuos y reutilización eficiente de materiales. Otro recurso utilizado específicamente en la economía circular es el agua que interviene en el proceso de lavado del material reciclado. Para realizar este proceso y generar menor impacto en el ambiente, la empresa construyó una piscina, donde se realiza el tratamiento de las aguas residuales, que posteriormente vuelven a la fase de producción.

La transición de las empresas de una economía lineal a una circular presenta varios desafíos tanto de orden financiero como estructural. Las empresas deben invertir en la reestructuración de los procesos, contratación y capacitación de personal, adaptación a nuevas cadenas de suministro, diseño de nuevos productos, para lo cual es indispensable el compromiso de los gobiernos, las industrias y la sociedad. La colaboración de los diferentes actores es fundamental para facilitar el proceso de transformación.

Los indicadores de ecoeficiencia y circularidad evidenciaron que la economía lineal tiene indicadores más bajos que la economía circular, debido en gran medida al uso de insumos indispensables y vinculados al proceso de reciclaje. La economía circular logró optimizar el uso de los materiales y reducir la compra de materia prima virgen, lo que demuestra una mejora en los ingresos de la empresa. En la parte ambiental, los resultados son negativos debido al incremento de consumo de energía eléctrica y agua, lo cual puede incidir en aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero. Por el contrario, un impacto ambiental positivo es la reducción de residuos destinados a vertederos, lo que disminuye la contaminación. Estas mejoras contribuyen a la sostenibilidad.

En el contexto ecuatoriano, la industria del plástico aporta en el desarrollo del país pues genera ingresos por medio del pago de impuestos y la generación directa e indirecta de empleos. No obstante, si las empresas optaran por la economía circular, el Estado ecuatoriano percibiría menos impuestos, ya que las importaciones de materia prima bajarían considerablemente al ser reemplazada por el reciclaje en el orden del 70%.

El país enfrenta problemas significativos en cuanto a la gestión de residuos, con un aumento en la generación de desechos plásticos y una capacidad limitada para su adecuada gestión y reciclaje. Esto ha generado presiones tanto económicas como ambientales, ya que el manejo inadecuado de los residuos plásticos ha llevado a la contaminación de ríos, suelos y océanos, así como a la degradación del paisaje. En este sentido, de reciclarse el material se podría evitar que 5.124 toneladas de material posconsumo sean desechadas y terminen en los vertederos o en fuentes de agua limpias.

El gobierno de Ecuador ha implementado políticas y reglamentos que impulsan la transformación a economías más limpias, verdes o circulares. No obstante, no ha logrado disminuir el uso indiscriminado de fundas de un solo uso, pues los consumidores consideran que el precio de este producto es insignificante y, como resultado, exceden en su uso y descarte. De la revisión literaria se conoce que son escasas las empresas que implementan prácticas reales de reciclaje o se vinculan con iniciativas sustentables o la adopción de

licencias ambientales. Este comportamiento de las empresas refleja el limitado compromiso con el medio ambiente y con la sociedad actual y futura.

Los autores sugieren que los indicadores de transición hacia una economía circular deben ser más exhaustivos y abarcar los aspectos ambientales, económicos y sociales de manera integral. En Ecuador, esto implicaría la implementación de estrategias que fomenten la reducción, reutilización y reciclaje de residuos, así como la promoción de prácticas empresariales sostenibles y responsables. A pesar de que la economía circular representa una oportunidad para abordar estos desafíos, es fundamental continuar investigando y desarrollando modelos más eficientes y controlados que impulsen el avance hacia una gestión de residuos más sostenible en el país.

La metodología de costos de ciclo de vida aplicada en esta investigación podría tener sus propias limitaciones y suposiciones, ya que se basa en costos del contexto ecuatoriano, razón por la cual no se puede generalizar a otros países con diferentes condiciones financieras y ambientales. Por otro lado, el uso de otra metodología puede arrojar otros resultados.

La transición de una economía lineal a circular es nueva en el Ecuador; más aún, las decisiones financieras implícitas en un cambio de sistema de producción no han sido investigadas a profundidad, lo que abre la posibilidad de crear futuras líneas de investigación, que atiendan, por ejemplo, el efecto de la transición de la economía circular en las cadenas de suministro, las finanzas climáticas y economía circular, la sostenibilidad y la economía circular, así como sus limitaciones y desafíos.

DECLARACIÓN DE CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores no manifiestan conflictos de interés institucionales ni personales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amate, J. (2020). *Cerrando ciclos en la agricultura intensiva bajo plástico: La economía circular aplicada a la agroindustria de Almería*. Instituto de Estudios Almerienses.
[https://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/Anexos.nsf/BF0822AFA7EE5F37C12586B8004110AB/\\$file/Economía%20circular%20v2.pdf](https://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/Anexos.nsf/BF0822AFA7EE5F37C12586B8004110AB/$file/Economía%20circular%20v2.pdf)
- Aranda-Usón, A., Scarpellini, S., & Moneva, J. M. (2024). Dynamic capabilities for a "circular accounting" and material flows in a circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 209, 107756.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107756>
- Arcentales-Bastidas, D., Silva, C., & Ramirez, A. D. (2022). The Environmental Profile of Ethanol Derived from Sugarcane in Ecuador: A Life Cycle Assessment Including the Effect of Cogeneration of Electricity in a Sugar Industrial Complex. *Energies*, 15(15), 5421. <https://doi.org/10.3390/en15155421>
- Arenas, C. N., Bello, A. P., Molina, N. F., Botero, J. L., & Betancur, M. (2024). Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing for the Production of Hydrangeas in Antioquia-Colombia. *Agronomy*, 14(7), 1408.
<https://doi.org/10.3390/agronomy14071408>
- Arinas, R. (2019). Economía circular: líneas maestras de un concepto jurídico en construcción. *Revista*

- Catalana de Dret Ambiental, 10. <https://doi.org/10.17345/rcda2567>
- Armenise, S., SyieLuing, W., Ramírez-Velásquez, J. M., Launay, F., Wuebben, D., Ngadi, N.,...Muñoz, M. (2021). Plastic waste recycling via pyrolysis: A bibliometric survey and literature review. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 158, 105265. <https://doi.org/10.1016/j.jaat.2021.105265>
- Asif, F. M. A., Lieder, M., & Rashid, A. (2016). Multi-method simulation based tool to evaluate economic and environmental performance of circular product systems. *Journal of Cleaner Production*, 139, 1261-1281. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.122>
- Avadí, A., Bolaños, C., Sandoval, I., & Ycaza, C. (2015). Life cycle assessment of Ecuadorian processed tuna. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(10), 1415-1428. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0943-2>
- Ayalon, O., Goldrath, T., Rosenthal, G., & Grossman, M. (2009). Reduction of plastic carrier bag use: An analysis of alternatives in Israel. *Waste Management*, 29(7), 2025-2032. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.02.016>
- Bahramimianrood, B., Xie, S., Malaibari, M., & Abdoli, S. (2024). Reviewing Circularity Indicators for a Sustainable Transition to a Circular Economy. *Procedia CIRP*, 122, 1065-1070. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.01.144>
- Bjørnbet, M. M., Skaar, C., Fet, A. M., & Schulte, K. Ø. (2021). Circular economy in manufacturing companies: A review of case study literature. *Journal of Cleaner Production*, 294, 126268. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126268>
- Bradley, R., Jawahir, I. S., Badurdeen, F., & Rouch, K. (2018). A total life cycle cost model (TLCCM) for the circular economy and its application to post-recovery resource allocation. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 141-149. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.017>
- Bravo Donoso, D. N., & Morocho, F. R. A. (2018). Innovación sustentable: un camino al desarrollo productivo del Ecuador. *INNOVA Research Journal*, 3(5), 29-44. <https://doi.org/10.33890/innova.v3.n5.2018.512>
- Cabernard, L., Pfister, S., Oberschelp, C., & Hellweg, S. (2022). Growing environmental footprint of plastics driven by coal combustion. *Nature Sustainability*, 5(2), 139-148. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00807-2>
- Chakravorti, N. (2024). Life Cycle Cost Analysis: An Economic Model for Sustainable Tomorrow (1st ed.). Productivity Press. <https://doi.org/10.4324/9781003462330>
- Circle-Economy-Foundation. (2023). *The Circular GAP report*. Circle Economy. <https://www.circularity-gap.world/>
- Cuzzuol, D. F., Alejandro. Ten, Carla. (2010). Análisis de los indicadores de ecoeficiencia de una Industria de Cementos. *xvi International Conference On Industrial Engineeringand Operations Management*, Sao Carlos, Brazil. https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_ti_st_132_845_16574.pdf
- Da Silva, E. P., Fragal, V. H., Fragal, E. H., Sequinel, T., Gorup, L. F., Silva, R., & Muniz, E. C. (2023). Sustainable energy and waste management: How to transform plastic waste into carbon nanostructures for electrochemical supercapacitors. *Waste Management*, 171, 71-85. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.08.028>
- Espaliat, M. (2017). *Economía circular y sostenibilidad*. CreateSpace. <https://wolfypablo.com/documentacion/Economia-circular-y-sostenibilidad.pdf>
- European Environment Agency. (2021). *Plastics, the circular economy and europe's environmental impact - A*

- priority for action (18). <https://www.eea.europa.eu/publications/plastics-the-circular-economy-and>
- Fundación Ellen MacArthur. (2015). Circularity indicators: An approach to measuring circularity.
- Garabiza, B., Prudente, E., & Quinde, K. (2021). La aplicación del modelo de economía circular en Ecuador. Estudio de caso. *Revista Espacios*, 42(2), 16, 222-237. <https://doi.org/10.48082/espacios-a21v42n02p17>
- 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/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- Ghisellini, P., Ripa, M., & Ulgiati, S. (2018). Exploring environmental and economic costs and benefits of a circular economy approach to the construction and demolition sector. A literature review. *Journal of Cleaner Production*, 178, 618-643. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.207>
- Haas, W., Krausmann, F., Wiedenhofer, D., & Heinz, M. (2015). How Circular is the Global Economy? An Assessment of Material Flows, Waste Production, and Recycling in the European Union and the World in 2005. *Journal of Industrial Ecology*, 19(5), 765-777. <https://doi.org/10.1111/jiec.12244>
- Hala, A. F., Chougule, K., Cunha, M. E., Caria Mendes, M., Oliveira, I., Bradley, T.,...Galileu Speranza, L. (2024). Life cycle assessment of integrated multi-trophic aquaculture: A review on methodology and challenges for its sustainability evaluation. *Aquaculture*, 590, 741035. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741035>
- Haupt, M., & Hellweg, S. (2019). Measuring the environmental sustainability of a circular economy. *Environmental and Sustainability Indicators*, 1-2, 100005. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2019.100005>
- Heralova, R. S. (2017). Life Cycle Costing as an Important Contribution to Feasibility Study in Construction Projects. *Procedia Engineering*, 196, 565-570. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.031>
- Hermabessiere, L., Dehaut, A., Paul-Pont, I., Lacroix, C., Jezequel, R., Soudant, P., & Duflos, G. (2017). Occurrence and effects of plastic additives on marine environments and organisms: A review. *Chemosphere*, 182, 781-793. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.05.096>
- Hidalgo-Crespo, J., Jervis, F. X., Moreira, C. M., Soto, M., & Amaya, J. L. (2020). Introduction of the circular economy to expanded polystyrene household waste: A case study from an Ecuadorian plastic manufacturer. *Procedia CIRP*, 90, 49-54. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.089>
- Homrich, A. S., Galvao, G., Abadi, L. G., & Carvalho, M. M. (2018). The circular economy umbrella: Trends and gaps on integrating pathways. *Journal of Cleaner Production*, 175, 525-543. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.064>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2018a). Directorio de Empresas y Establecimientos. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/DirectorioEmpresas/Directorio_Empresas_2017/Documentos_DIFF_2017/Documentos_DIFF_2017/Principales_Resultados_DIFF_2017.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2018b). Información Ambiental Económica en Empresas - 2018. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/informacion-ambiental-economica-en-empresas-2018/>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2023). Módulo de Información Económica Ambiental en Empresas ENESEM 2021. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/EMPRESAS/Empresas_2021/PPT_MOD_INF_AMB_ENESEM_2021_04.pdf
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114

- definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221-232.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Kolade, O., Oyinlola, M., Ogunde, O., Ilo, C., & Ajala, O. (2024). Digitally enabled business models for a circular plastic economy in Africa. *Environmental Technology & Innovation*, 35, 103657.
<https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103657>
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 143, 37-46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>
- Korhonen, J., Nuur, C., Feldmann, A., & Birkie, S. E. (2018). Circular economy as an essentially contested concept. *Journal of Cleaner Production*, 175, 544-552. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.111>
- "La industria del plástico se mueve al ritmo de unas 600 empresas". (2018). Revista Líderes.
<https://www.revistalideres.ec/lideres/industria-plastico-inversion-innovacion-ritmo.html>
- Landigan, P. J., Raps, H., Cropper, M., Bald, C., Brunner, M., Canonizado, E. M., ... Dunlop, S. (2023). The Minderoo-Monaco Commission on Plastics and Human Health. *Annals of Global Health*, 89(1), Article 23. <https://doi.org/10.5334/aogh.4056>
- Ley orgánica para la racionalización , reutilización y reducción de plásticos de un solo uso, (diciembre, 2020). Registro oficial No. 354, Tercer suplemento, Ecuador.
<https://www.asambleanacional.gob.ec/es/multimedios-legislativos/56614-ley-organica-para-la-racionalizacion>
- Lieder, M., & Rashid, A. (2016). Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, 115, 36-51.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.042>
- Liu, Z., & Kringos, N. (2024). Transition from linear to circular economy in pavement engineering: A historical review. *Journal of Cleaner Production*, 449, 141809.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141809>
- Mendoza, J. M. F., D'Aponte, F., Gualtieri, D., & Azapagic, A. (2019a). Disposable baby diapers: Life cycle costs, eco-efficiency and circular economy [Article]. *Journal of Cleaner Production*, 211, 455-467.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.146>
- Mendoza, J. M. F., D'Aponte, F., Gualtieri, D., & Azapagic, A. (2019b). Pañales desechables para bebés: costos del ciclo de vida, ecoeficiencia y economía circular [Article]. *Journal of Cleaner Production*, 211, 455-467. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.146>
- Ministerio de Energía y Minas Ecuador. (2022). Las tarifas de energía eléctrica no se incrementarán en el 2022.
<https://www.recursosyenergia.gob.ec/las-tarifas-de-energia-electrica-no-se-incrementaran-en-el-2022/>
- Ministerio del Ambiente Agua Transición Ecológica. (2014). MAE promueve la Primera Política de Consumo Responsable de Fundas Plásticas tipo camiseta. <https://www.ambiente.gob.ec/mae-promueve-la-primera-politica-de-consumo-responsable-de-fundas-plasticas-tipo-camiseta/>
- Miyoshi, S. C., & Secchi, A. R. (2024). Simultaneous Life Cycle Assessment and Process Simulation for Sustainable Process Design. *Processes*, 12(7), 1285. <https://doi.org/10.3390/pr12071285>
- Moins, B., France, C., Van den bergh, W., & Audenaert, A. (2020). Implementing life cycle cost analysis in road engineering: A critical review on methodological framework choices. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 133, 110284. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110284>
- Mórtola, J. (2022). Informe de Gestión Aseplas. Aseplas.

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE]. (2023). *La contaminación por plástico crece sin cesar, en tanto que la gestión de residuos y el reciclaje quedan cortos.*

<https://www.oecd.org/espanol/noticias/perspectivas-globales-del-plastico.htm>

Ordoñez-Iturralde, D. D., Proaño-Piedra, C. P., & Villegas-Sánchez, C. L. (2024). Unveiling the Nexus: Urban Planning, Circular Economy and Sustainable Development. *Revista Venezolana de Gerencia*, 29(107), 1025-1039. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.29.107.2>

Parchomenko, A., Nelen, D., Gillabel, J., & Rechberger, H. (2019). Measuring the circular economy - A Multiple Correspondence Analysis of 63 metrics. *Journal of Cleaner Production*, 210, 200-216. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.357>

Prata, J. C., Silva, A. L. P., da Costa, J. P., Mouneyrac, C., Walker, T. R., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2019). Solutions and Integrated Strategies for the Control and Mitigation of Plastic and Microplastic Pollution. *Int J Environ Res Public Health*, 16(13), 2411. <https://doi.org/10.3390/ijerph16132411>

Productos Paraíso del Ecuador. (2022). *Comunicación de progreso CoP.*

<https://www.empaquesparaiso.com.ec/wp-content/uploads/2023/04/INFORME-COP-PACTO-GLOBAL.pdf>

Rhodes, C. J. (2018). Plastic Pollution and Potential Solutions. *Science Progress*, 101(3), 207-260. <https://doi.org/10.3184/003685018X15294876706211>

Rincón, E., & Wellens, A. (2011). Cálculo de indicadores de ecoeficiencia para dos empresas ladrilleras Mexicanas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(4), 333-345.

<https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v27n4/v27n4a6.pdf>

Salinas Herrera, L. J., Gamboa Aragundi, J. A., Vega Jaramillo, F. Y., & Salcedo Muñoz, V. E. (2023). Modelo de Economía Circular en Ecuador: análisis descriptivo. *Pacha. Revista de Estudios Contemporáneos del Sur Global*, 4(10), e230175. <https://doi.org/10.46652/pacha.v4i10.175>

Schmidt, A., Götze, U., & Sygulla, R. (2015). Extending the scope of Material Flow Cost Accounting – methodical refinements and use case. *Journal of Cleaner Production*, 108, 1320-1332. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.039>

Singh, R. K., & Ruj, B. (2015). Plasticwaste management and disposal techniques - Indian scenario. *International Journal of Plastics Technology*, 19(2), 211-226. <https://doi.org/10.1007/s12588-015-9120-5>

Snyder, William R., & Park, J. (2024). Environmental and Economic Analysis of Reusable and Single-Use Food Packaging Formats in University Campus Food Services. *Packaging Technology and Science*, 37(9), 841-855. <https://doi.org/10.1002/pts.2826>

Stegmann, P., Daioglou, V., Londo, M., van Vuuren, D. P., & Junginger, M. (2022). Plastic futures and their CO₂ emissions. *Nature*, 612(7939), 272-276. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05422-5>

Sucozhañay, G., Vidal, I., & Vanegas, P. (2022). Towards a Model for Analyzing the Circular Economy in Ecuadorian Companies: A Conceptual Framework. *Sustainability*, 14(7), 4016. <https://doi.org/10.3390/su14074016>

Sumba, R., Pinargotty, J., & Pillasagua, D. (2022). MIPYMES en el mercado de Ecuador y su rol en la actividad económica. *Recimundo*, 6(4), 439-455. [https://doi.org/10.26820/recimundo.6.\(4\).octubre.2022.439-455](https://doi.org/10.26820/recimundo.6.(4).octubre.2022.439-455)

Swarr, T. E., Hunkeler, D., Klöpffer, W., Pesonen, H.-L., Ciroth, A., Brent, A. C., & Pagan, R. (2011). Environmental life-cycle costing: a code of practice. *The International Journal of Life Cycle Assessment*,

- 16(5), 389-391. <https://doi.org/10.1007/s11367-011-0287-5>
- Topleva, S. A., & Tsvetko Velchev, P. (2020). Integrated business model for sustainability of small and medium-sized enterprises in the food industry: Creating value added through ecodesign. *British Food Journal*, 122(5), 1463-1483. <https://doi.org/10.1108/BFJ-03-2019-0208>
- Wang, D. S. (2020). Association between technological innovation and firm performance in small and medium-sized enterprises. *International Journal of Innovation Science*, 11(2), 227-240. <https://doi.org/10.1108/IJIS-04-2018-0049>
- World Business Council for Sustainable Development [WBCSD]. (2022). *Indicadores de Transición Circular V2 - Métricas para empresas realizadas por empresas*. <https://accionempresas.cl/content/uploads/cti-2-traducion-espanol-10marzo-2022-interactivo.pdf>
- Yuan, Z., Jiang, W., Liu, B., & Bi, J. (2008). Where will china go? A viewpoint based on an analysis of the challenges of resource supply and pollution. *Environmental Progress*, 27(4), 503-514. <https://doi.org/10.1002/ep.10300>
- Zhang, J., Bhuiyan, M., Zhang, G., Sandanayake, M., & Navaratnam, S. (2024). Circular economy life cycle cost for kerbside waste material looping process. *Waste Management*, 186, 307-317. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.06.023>