

**UNIVERSIDAD ANTONIO RUIZ DE MONTOYA**

Facultad de Ciencias Sociales



**ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DE LA INCLUSIÓN DEL  
MODELO DE ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA GESTIÓN DEL  
PET EN EL DISTRITO CERCADO DE LIMA, 2024**

Tesis para optar el Título Profesional de Licenciado en Economía y Gestión Ambiental

Presenta el Bachiller:

**RICARDO DANIEL MARIÑO PAUL**

**Presidente: Daniel Guitian Hernandez**

**Asesor: Bruno Ricardo Portillo Seminario**

**Lectoría: Cinthya Katherine Tello Zuñiga**

**Lima – Perú**

**Julio de 2025**



**UARM**

Universidad  
Antonio Ruiz  
de Montoya

Anexo N.º 3 - Reglamento General de Grados y Títulos de Pregrado y Posgrado

Aprobado por Resolución Rectoral N° 194-2022-UARM-R y modificado por

Resolución Rectoral N° 040-2023-UARM-R

## INFORME DE ORIGINALIDAD

Sres.

**CONSEJEROS**

Pte.

De nuestra consideración:

Por la presente nos dirigimos a Ustedes para saludarlos e informar al Consejo Universitario sobre el producto académico elaborado por Mariño Paul, Ricardo Daniel, quien solicita la obtención de su título profesional a través de la sustentación de Tesis.

El producto académico elaborado tiene como título "Análisis costo beneficio de la inclusión del modelo de economía circular para la gestión del PET en el distrito cercado de Lima."

Por tanto, en nuestra condición de Asesor de producto académico y de integrante de la Comisión de Grados y Títulos de la Facultad de Ciencias Sociales respectivamente, declaramos que el producto académico de ...nombre del graduando o titulando ha sido examinado con el programa antiplagio *Turnitin* para identificar su nivel de coincidencias.

El resultado que arroja el programa es de 13% de similitud, el cual proviene de fuentes de información que han sido debidamente citadas o reconocidas utilizando las normas del sistema APA.

Sin otro particular, quedo de ustedes.

Firmado en Lima, el 6 del mes de junio de 2025

Atentamente,

Bruno Ricardo Portillo Seminario  
Asesor

Eduardo Ernesto Vega Luna  
Presidente de la Comisión

\*Conforme a lo establecido en el documento de identidad



## EPÍGRAFE

*“Somos diamantes tomando forma”*

*(Coldplay)*

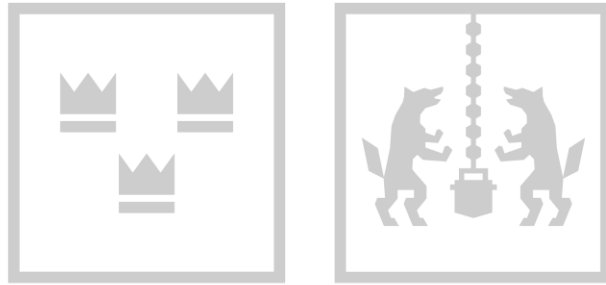




## **DEDICATORIA**

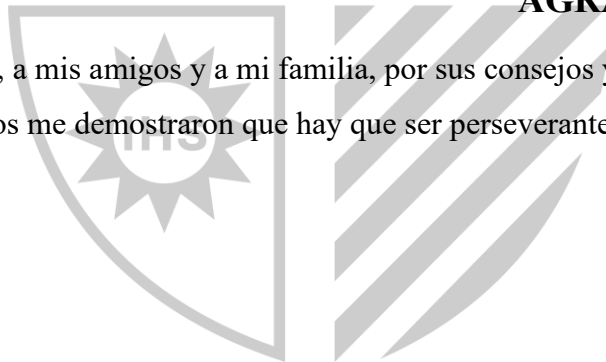
A mis padres, quienes se esforzaron para enseñarme que la vida consta de retos que deben superarse a pesar de la adversidad. Espero con muchas ansias que esta investigación sea de su agrado y estén más orgullosos de mí.

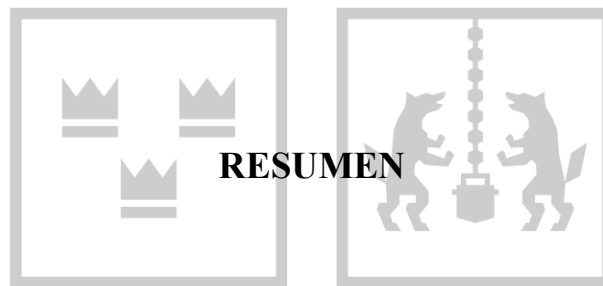




## **AGRADECIMIENTO**

A mis profesores, a mis amigos y a mi familia, por sus consejos y por siempre confiar en mí. Ellos me demostraron que hay que ser perseverante en nuestro día a día.





La investigación analiza la viabilidad económica y los beneficios sociales y ambientales de implementar un modelo de economía circular para la gestión del PET en el distrito Cercado de Lima en 2024, utiliza un enfoque cuantitativo basado en el análisis costo-beneficio (ACB), la población está conformada por los residuos sólidos generados en el distrito, y la muestra considera el PET recogido en programas de reciclaje, se emplean técnicas de análisis financiero y proyecciones económicas, junto con instrumentos de recolección de datos primarios y secundarios. Los resultados evidencian que la implementación del modelo requiere una inversión inicial considerable, pero genera un Valor Actual Neto (VAN) positivo y una Tasa Interna de Retorno (TIR) superior al costo de oportunidad del capital. Además, se estiman beneficios ambientales significativos, como la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y la disminución de residuos plásticos en vertederos. Se concluye que el modelo es viable y contribuye a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), recomendándose su implementación y replicación en otros distritos urbanos.

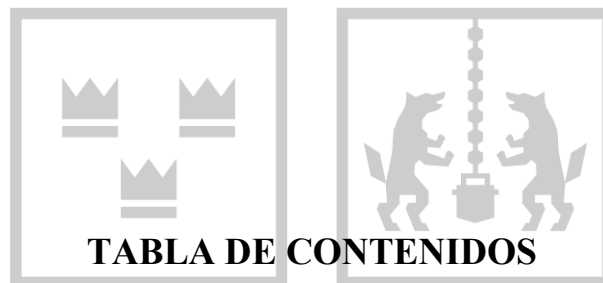
**Palabras clave:** Residuos Sólidos, Análisis Costo Beneficio, Economía Circular, ODS, Viabilidad



## ABSTRACT

The research analyzes the economic feasibility and the social and environmental benefits of implementing a circular economy model for PET management in the district of Cercado de Lima in 2024. It employs a quantitative approach based on cost-benefit analysis (CBA). The population consists of solid waste generated in the district, while the sample considers PET collected through recycling programs. Financial analysis techniques and economic projections are used, along with primary and secondary data collection instruments. The results show that implementing the model requires a considerable initial investment but generates a positive Net Present Value (NPV) and an Internal Rate of Return (IRR) higher than the opportunity cost of capital. Additionally, significant environmental benefits are estimated, such as a reduction in CO<sub>2</sub> emissions and a decrease in plastic waste in landfills. It is concluded that the model is viable and contributes to the Sustainable Development Goals (SDGs), recommending its implementation and replication in other urban districts.

**Keywords:** Solid Waste, Cost Benefit Analysis, Circular Economy, ODS, Viability.



INTRODUCCIÓN .....	14
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	16
1.1. Descripción del problema.....	16
1.2. Formulación del problema .....	22
1.2.1. Problema general .....	22
1.2.2. Problemas específicos.....	22
1.3. Objetivos de la investigación .....	22
1.3.1. Objetivo general .....	22
1.3.2. Objetivos específicos .....	23
1.4. Justificación e importancia de la investigación.....	23
1.4.1. Justificación .....	23
1.4.2. Importancia.....	23
1.5. Alcances y Limitaciones .....	24
1.5.1. Alcances.....	24

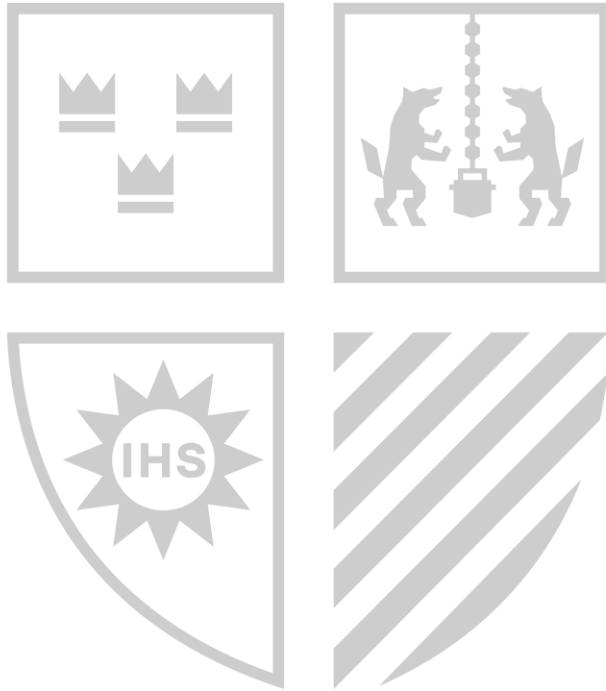


1.5.2.	Limitaciones .....	24
1.6.	Hipótesis.....	24
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO .....		26
2.1.	Antecedentes de la investigación .....	26
2.1.1.	Antecedentes internacionales.....	26
2.1.2.	Antecedentes nacionales.....	29
2.2.	Marco legal.....	31
2.3.	Marco conceptual .....	33
2.3.1.	Desarrollo Sostenible y Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) .....	33
2.3.2.	Economía circular.....	36
2.3.3.	Vinculación del PET en el Marco de los ODS .....	41
2.3.4.	Aplicación del Modelo de Economía Circular en la Gestión de Plásticos .....	43
2.3.5.	Residuos Sólidos.....	46
2.3.6.	Análisis Costo Beneficio .....	57
CAPITULO III: METODOLOGÍA .....		63
2.1.	Tipo y diseño de la investigación.....	63
2.2.	Población y muestra del estudio.....	64
2.2.1.	Población .....	64
2.2.2.	Muestra.....	65
2.3.	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	65
2.4.	Variables .....	66
2.4.1.	Método de análisis de datos.....	67
CAPITULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS .....		70
4.1.	Resultados de modelo ACB .....	70
4.2.	Caracterización del modelo de economía circular aplicado en Cercado de Lima.....	73
4.3.	Respuesta a la hipótesis.....	84
4.3.1.	Respuesta a la primera hipótesis específica 1: Costos iniciales.....	84
4.3.2.	Respuesta a la segunda hipótesis específica 2: Beneficios económicos y ambientales.	

4.3.3. Respuesta a la hipótesis general: La implementación de un modelo de economía circular enfocado en la gestión del PET en el distrito Cercado de Lima es económicamente viable y genera beneficios sociales y ambientales significativos. ....	90
CONCLUSIONES .....	94
RECOMENDACIONES .....	96
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98

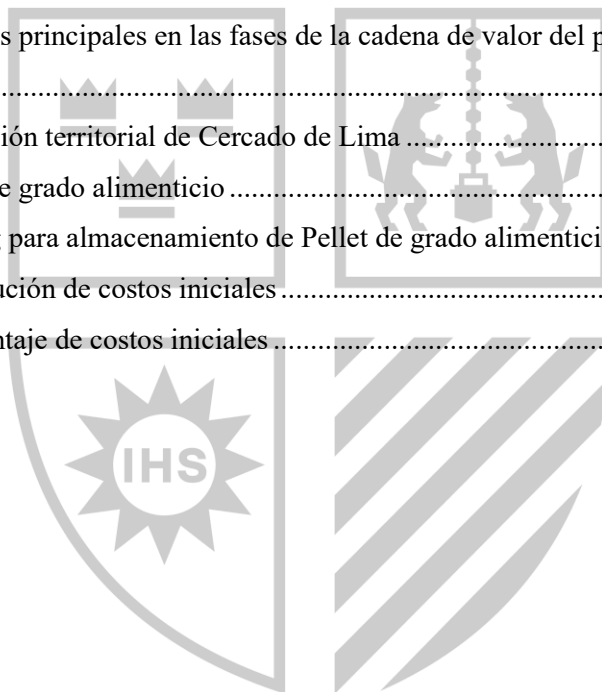
## ÍNDICE DE TABLAS

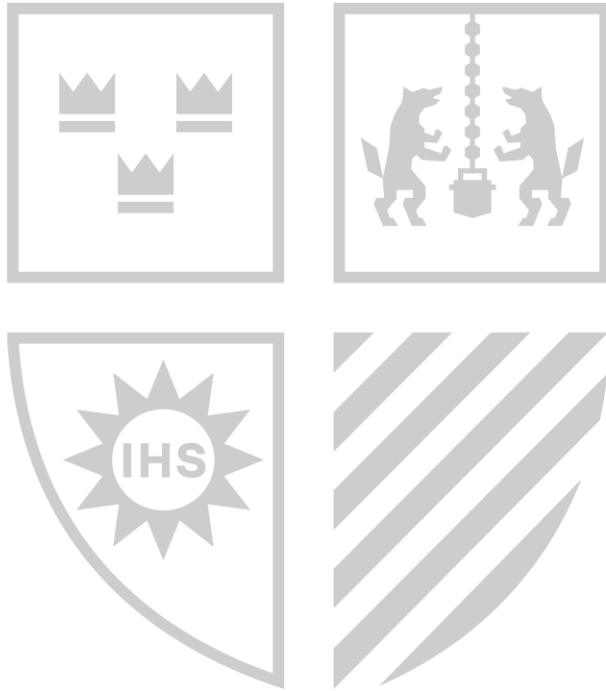
<b>Tabla 1</b> Procesos de la gestión de Residuos Sólidos.....	47
<b>Tabla 2</b> Tipo de residuos generados en Cercado de Lima.....	52
<b>Tabla 3</b> Tipo de residuos No domiciliarios generados en Cercado de Lima.....	53
<b>Tabla 4</b> Variables de la investigación .....	67
<b>Tabla 5</b> Cantidad de generación de toneladas de RR.SS en Cercado de Lima desde 2015 al 2022 .....	70
<b>Tabla 6</b> Estimación de cantidad de toneladas de Residuos anuales del 2023 al 2033 en Cercado de Lima .....	71
<b>Tabla 7</b> Generación de residuos Domiciliarios diarios en toneladas.....	72
<b>Tabla 8</b> Cantidad de toneladas de residuos plásticos generados en Cercado de Lima .....	72
<b>Tabla 9</b> Estimación de cantidad de Residuos Plásticos valorizados, cubrimiento al 60% del total generado en el distrito .....	73
<b>Tabla 10</b> Descripción de equipos .....	83
<b>Tabla 11</b> Distribución de personal de mano de obra directa .....	83
<b>Tabla 12</b> Distribución de personal de mano de obra indirecta .....	84
<b>Tabla 13</b> Costos iniciales .....	85
<b>Tabla 14</b> Beneficios económicos (2024).....	87
<b>Tabla 15</b> Flujo de caja (proyecciones en 10 años) .....	89
<b>Tabla 16</b> Escenarios Variables Clave.....	92



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Ilustración 1</b> Evaluación de la gestión integral y manejo de residuos sólidos actuales.....	20
<b>Ilustración 2</b> Interrelación entre ODS y la Gestión de Residuos Sólidos .....	35
<b>Ilustración 3</b> Modelo de economía circular .....	38
<b>Ilustración 4</b> Modelo liberal vs Economía Circular.....	40
<b>Ilustración 5</b> Desafíos principales en las fases de la cadena de valor del plástico en el modelo de economía circular.....	45
<b>Ilustración 6</b> Limitación territorial de Cercado de Lima .....	65
<b>Ilustración 7</b> Pellet de grado alimenticio .....	74
<b>Ilustración 8</b> Big bag para almacenamiento de Pellet de grado alimenticio.....	75
<b>Ilustración 9</b> Distribución de costos iniciales .....	85
<b>Ilustración 10</b> Porcentaje de costos iniciales .....	86







## INTRODUCCIÓN

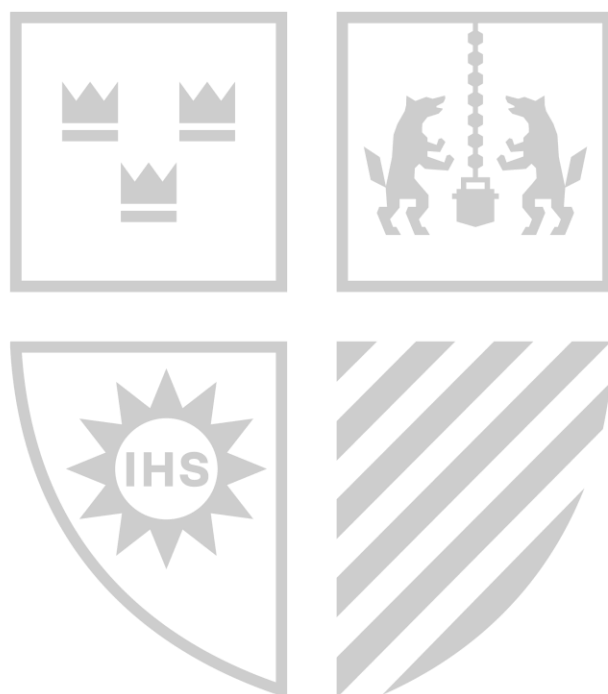
En las últimas décadas, la problemática ambiental derivada de la gestión inadecuada de residuos sólidos tiene una relevancia creciente a nivel global, dentro de este contexto, la “economía circular” se ha posicionado como un modelo alternativo que busca optimizar el uso de los recursos, promoviendo la reducción, reutilización y reciclaje de materiales (Romero, 2024). En el caso específico del Cercado de Lima, la gestión de residuos plásticos, particularmente del tereftalato de polietileno (PET), representa un desafío significativo debido a su alto volumen de generación y su impacto ambiental.

El presente estudio analiza la viabilidad económica y los beneficios socioambientales de implementar un “modelo de economía circular” para la gestión del PET en Cercado de Lima durante el año 2024, a través del análisis costo-beneficio (ACB), se busca evaluar si esta propuesta resulta sostenible y rentable en el periodo medio y extendido; además, se exploran las repercusiones beneficiosas que su aplicación podría generar en la reducción de residuos plásticos, la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y la creación de oportunidades económicas para los sectores involucrados.

En este marco, la investigación se sustenta en diversos antecedentes nacionales e internacionales que evidencian la efectividad de los modelos de “economía circular” en la “gestión de residuos sólidos” urbanos, asimismo, apoyándose en un marco teórico basado en conceptos de economía circular, desarrollo sostenible y análisis financiero aplicado a la valorización de residuos.

El estudio se estructura en cuatro capítulos principales, en el primer capítulo se expone el planteamiento del problema, formulación de la hipótesis, objetivos y justificación del estudio, el segundo capítulo proporciona una descripción detallada del marco teórico y normativo que respalda el estudio, el tercer capítulo detalla la metodología empleada para la recolección y analítica de la data, en el cuarto capítulo se expondrán los hallazgos obtenidos, su análisis y las conclusiones que facilitarán la evaluación de la viabilidad del modelo propuesto, este estudio busca proporcionar datos

pertinentes para la formulación de directrices públicas y la materialización de estrategias de economía circular en el país.





## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Este apartado busca asemejar y contextualizar la problemática que motiva este estudio, centrado en la “gestión de residuos sólidos” en Cercado de Lima, se requiere la implementación de un modelo de economía circular enfocado en el “polietileno tereftalato” (PET), se topa con el diagnóstico de la administración de residuos, destacando sus principales limitaciones y desafíos en términos de infraestructura, políticas y prácticas, se resalta la importancia de gestionar adecuadamente el PET, considerando su impacto significativo en la sostenibilidad ambiental y las oportunidades que representa para fomentar un “modelo de economía circular” eficiente y sostenible.

Asimismo, se plantea la viabilidad de la “economía circular” como una opción para perfeccionar el manejo de desperdicios, disminuir costos y producir beneficios económicos y ecológicos, a partir de esta problemática, se formulan las interrogantes, los objetivos y las hipótesis que guiarán el desarrollo de esta investigación.

### **1.1. Descripción del problema**

La gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) se ha convertido en uno de los mayores desafíos ambientales del siglo XXI, principalmente por su vínculo con el crecimiento poblacional descontrolado, los patrones de consumo insostenibles y el desarrollo económico acelerado. Según la ONU (2024), la generación de RSU aumentará de 2.100 millones de toneladas en 2023 a 3.800 millones en 2050, esto implicará un aumento significativo en los costos de gestión, que podrían pasar de 252.000 millones de dólares en 2020 a 640.300 millones en 2050 si no se toman medidas correctivas, además, los costos ocultos por la contaminación, la salud pública y el cambio climático elevan el costo total a 361.000 millones de dólares anuales (ONU, 2024). Sin embargo, un modelo de economía circular que desvincule la generación de residuos del crecimiento económico podría generar beneficios netos de 108.500 millones de dólares anuales a nivel global.

Vinculándose con la situación actual, el panorama resulta particularmente preocupante al evidenciarse que aproximadamente el 38% de los residuos a nivel global se maneja de manera no controlada, ya sea mediante vertederos no regulados o quema al

aire libre. Esta realidad refleja marcadas disparidades regionales en cuanto a la capacidad de gestión, donde los países de ingresos bajos apenas logran recolectar el 40% de sus residuos, mientras que las regiones de altos ingresos consiguen gestionar casi la totalidad de sus desechos (Romero, 2024).

Frente a esta problemática, resulta fundamental destacar su vínculo con diversos “Objetivos de Desarrollo Sostenible” (ODS), principalmente con el ODS 11 "Ciudades y Comunidades Sostenibles", específicamente en su meta 11.6, que tiene como objetivo mitigar el impacto ambiental adverso per cápita de las urbes, con un enfoque particular en la administración de residuos municipales, asimismo, se asocia estrechamente con el ODS 12 "Producción y Consumo Responsables", que fomenta la administración sostenible y la utilización eficaz de los recursos naturales, y con el ODS 13 "Acción por el Clima", debido a la contribución significativa de los residuos mal gestionados a la emisión de gases de efecto invernadero.

En Latinoamérica, la situación de gestión de residuos presenta desafíos propios de las economías emergentes, destacándose las bajas tasas de reciclaje, que apenas alcanzan el 5%, frente al 50% logrado en países de altos ingresos, además, la falta de infraestructura y cobertura en servicios de recolección, especialmente en áreas rurales, contribuye a una gestión inadecuada de los residuos, con impactos ambientales y sanitarios significativos (Romero, 2024). El informe de la ONU (2024) plantea tres escenarios para 2050: mantener la gestión actual, lo que aumentaría los residuos no controlados; implementar mejoras parciales en las prácticas de manejo; o adoptar un modelo de economía circular, capaz de alcanzar un 60% de reciclaje y generar importantes beneficios económicos.

El PET (tereftalato de polietileno) es un material clave en diversas industrias y representa una oportunidad para los modelos de economía circular. Según Mordor Intelligence (2024), el mercado global del PET alcanzará los 26.99 mil millones de dólares en 2024 y crecerá a una tasa anual compuesta (CAGR) del 6.29%, alcanzando 36.61 mil millones de dólares en 2029, este material se ha consolidado debido a sus características económicas, ligeras y no reactivas, siendo el sector de embalaje su principal consumidor, con el 96% de los ingresos generados en 2022, este crecimiento está impulsado por la alta demanda de envases en las industrias de alimentos, bebidas, productos farmacéuticos y bienes de consumo, lo que aumentará la producción global de envases plásticos de 140 a 180 millones de toneladas entre 2023 y 2029.

A nivel regional, Asia-Pacífico lidera el consumo global de PET con un 47% en 2022, destacándose China e India por su fuerte participación en los sectores de embalaje y electrónica, Europa sigue en importancia con un 19% del consumo, siendo Alemania y Rusia los principales mercados. Por su parte, Oriente Medio es la región de más rápido crecimiento, impulsada por la creciente demanda de envases para alimentos y bebidas. Además, la industria eléctrica y electrónica emerge como un sector estratégico para el PET, con un crecimiento proyectado del 7.88% anual entre 2023 y 2029, lo que refleja su versatilidad y potencial en una economía más sostenible (Mordor Intelligence, 2024).

En el Perú, la “gestión de residuos sólidos” enfrenta retos importantes en generación y aprovechamiento, según el MINAM (2024a), se generan anualmente 8,450,715 toneladas de residuos sólidos municipales, de las cuales 6,559,570 son residuos orgánicos e inorgánicos, pero solo 148,500 toneladas son valorizadas mediante reciclaje, los datos muestran un aumento preocupante en la producción per cápita de residuos sólidos urbanos, que pasó de 0.56 a 0.59 kg/habitante/día entre 2014 y 2022, reflejando patrones de consumo menos sostenibles, además, la generación total de residuos sólidos urbanos creció de 4,833,465 toneladas en 2014 a 5,919,000 toneladas en 2022, aumentando la presión sobre los sistemas de gestión (MINAM, 2024).

En respuesta a esta situación, el gasto público per cápita en “gestión de residuos sólidos” municipales ha experimentado un incremento notable, elevándose de 28.33 soles por habitante en 2014 a 55.65 soles por habitante en 2022; sin embargo, este aumento en la inversión no se ha traducido necesariamente en mejoras proporcionales en la regulación eficaz de los desperdicios. Esta realidad se refleja en el número de municipalidades que implementan efectivamente la valorización de residuos sólidos inorgánicos, el cual ha mostrado una tendencia irregular, alcanzando su punto máximo en 2021 con 243 municipalidades, para luego descender a 193 en 2022 (MINAM, 2024).

La situación en Lima Metropolitana presenta características particulares que la distinguen del contexto nacional; en este sentido, la capital muestra indicadores superiores tanto en generación como en gasto per cápita. Los datos revelan que la generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios urbanos en Lima ha aumentado de 0.61 kg/habitante en 2014 a 0.66 kg/habitante en 2022, superando consistentemente el promedio nacional. Este incremento se refleja también en la generación total de residuos sólidos domiciliarios urbanos, que ha pasado de 2,113,239 toneladas en 2014 a 2,607,657 toneladas en 2022 (MINAM, 2024).

En este contexto de desafíos en la “gestión de residuos sólidos”, resulta esencial abordar el impacto específico de los residuos plásticos, especialmente el PET, debido a su protagonismo en los patrones de consumo urbano y su limitado aprovechamiento a través del reciclaje. Según el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2024b), Perú genera aproximadamente 1.2 millones de toneladas de residuos plásticos al año, de los cuales solo el 10% es reciclado adecuadamente. Esto significa que una gran parte de estos desechos terminan contaminando suelos, ríos y mares. En promedio, cada ciudadano peruano utiliza cerca de 30 kilogramos de plástico anualmente, lo que incluye el uso de aproximadamente 3 mil millones de bolsas plásticas al año, equivalentes a 6 mil bolsas cada minuto.

Particularmente, Lima Metropolitana y el Callao concentran el mayor volumen de residuos plásticos del país, generando 886 toneladas diarias, lo que representa el 46% del total nacional. Esta situación evidencia una alta dependencia de plásticos en estas zonas urbanas, acompañada de una limitada capacidad para gestionarlos de manera eficiente. En respuesta a esta problemática, el MINAM ha impulsado iniciativas como la campaña “Menos Plástico, Más Vida”, cuyo objetivo es reducir el uso de plásticos de un solo uso, tales como bolsas, sorbetes y envases desechables.

Por su parte, República Sostenible (2023) señala que la creciente preocupación por la contaminación plástica ha llevado a la implementación de medidas legislativas como la Ley 30884, que regula el uso de plásticos de un solo uso y prohíbe el Tecnopor desde diciembre de 2021. Estas acciones, sumadas a la asistencia entre los “sectores públicos”, privado y la ciudadanía, buscan fomentar una transformación hacia una “economía circular” que contribuya a mitigar los efectos acerca de los desechos plásticos en el entorno ambiental de Perú.

En términos de gestión financiera, Lima presenta un gasto municipal per cápita significativamente mayor al promedio nacional, incrementándose de 44.01 soles por habitante en 2014 a 75.31 soles por habitante en 2022. Esta diferencia en el gasto refleja tanto la mayor capacidad financiera de la capital como los mayores costos operativos asociados a la gestión de residuos en un entorno urbano complejo (MINAM, 2024).

Un aspecto particularmente preocupante es el bajo porcentaje de residuos sólidos municipales valorizados a nivel nacional, el cual, si bien ha mostrado una tendencia general al alza, pasando de 0.25% en 2014 a 1.76% en 2022, sigue siendo significativamente inferior a los estándares internacionales y al potencial de

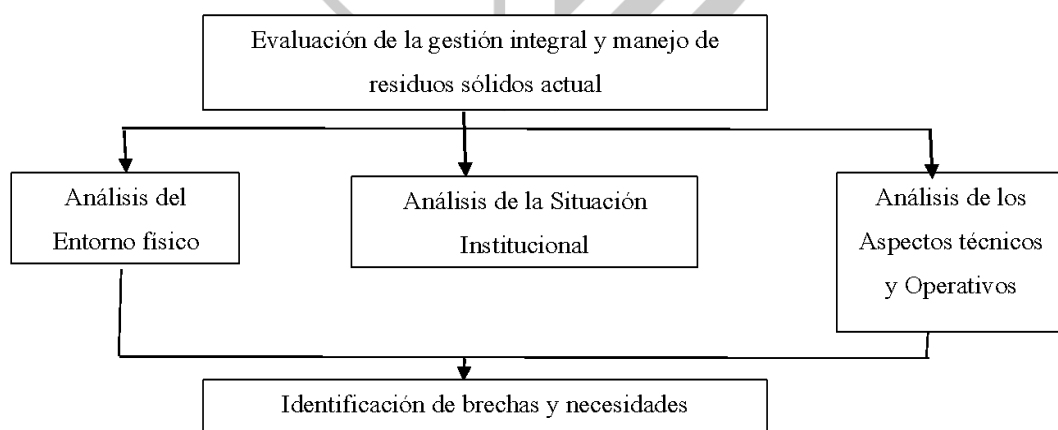
aprovechamiento de los residuos generados (MINAM, 2024). Esta situación resalta la imperiosa exigencia de consolidar los sistemas de valorización y reutilización, además del implemento de estrategias más eficientes para la gestión integral de compuestos sólidos.

En términos institucionales y normativos, Lima se rige por la Ley 27314 de 2000, denominada como la Ley General de Residuos Sólidos, y el Decreto Supremo 057 del año 2004. El art. 4 de la Ley 27314 propone la adopción de medidas centradas a minimizar la producción de compuestos sólidos, aunque el art. 60 del Decreto Supremo 057 aborda la reducción de la vulnerabilidad de los residuos y su incorporación como un asunto de debate en asuntos municipales. Adicionalmente, a nivel municipal, Lima se rige por la Ordenanza 295 del año 2000, conocida como el Sistema Metropolitano de “gestión de residuos sólidos”, y el Decreto Supremo 147 del año 2001. El artículo 33 de la Ordenanza 295 se fundamenta en la obligación municipal de disminuir la producción de compuestos sólidos en la fuente por residuo.

Según el “Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos” (PIGARS) 2020-2024, para obtener un diagnóstico exhaustivo de la administración completa y tratamiento de residuos sólidos, es imperioso realizar una evaluación de los siguientes aspectos:

**Figura 1**

*Evaluación de la gestión integral y manejo de residuos sólidos actual*



*Nota.* Adaptado de Resolución Ministerial N° 100-2019-MINAM, que aprueba la Guía para Elaborar el Plan Distrital de Manejo de Residuos Sólidos.

*Ilustración 1 Evaluación de la gestión integral y manejo de residuos sólidos actuales*

En ese sentido, según el Plan Provincial de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PIGARS 2020-2024, hoy en día en Cercado de Lima se tienen los siguientes datos en torno a la generación diaria de Residuos Sólidos según sus categorías (Municipalidad Metropolitana de Lima, 2020):

En primer lugar, los residuos domiciliarios producto de las viviendas generan diariamente 190.68Tn con una densidad de 206.52kg/m<sup>3</sup>, de los cuales 80.50% son aprovechables (59.96% orgánicos, 20.54% inorgánicos), y 19.50% no aprovechables. En segundo lugar, los desechos no domésticos, originados por entidades mercantiles, alojamientos, tiendas, restaurantes, entidades públicas y privadas, organizaciones educativas y servicios de limpieza, generan residuos no domiciliarios de 441.94 Tn/día con una densidad de 91.23kg/m<sup>3</sup> distribuidos en 79.62% de aprovechables (38.98% orgánicos, 40.64% inorgánicos) y 20.38% no aprovechables. Finalmente, se generan residuos sólidos municipales especiales como son los de lubricantes, laboratorios, veterinarias y residuos de construcción y demolición, los cuales ocupan 60.94 Tn/día. Con ello, vemos que aproximadamente se generan 693.59 Tn/diarias de residuos en Cercado de Lima.

El distrito cuenta con distintos tipos de depósitos de almacenamiento de RRSS. Entre ellos: 4546 papeleras, 8 ecotainers, 1 contenedor roll on roll off, 1 bigtainer y 121 contenedores de metal. Estos depósitos cuentan con frecuencias distintas de limpieza según su tipo y diversos mantenimientos. En relación con las acciones de barrido se cuenta con frecuencias de barrido de fondo y superficial. Por lado de las actividades de recolección y transporte, Cercado de Lima cuenta con un sistema de rutas por parte del concesionario en horarios diurnos y nocturnos.

Además, existe un programa de recolección selectiva llamado “Recicla Lima”, el cual promueve la separación y valoración de los “residuos sólidos” aprovechables generados en el Cercado de Lima. Mediante este programa se ha logrado instalar estaciones de reciclaje en distintos puntos de Cercado de Lima. A su vez, se ha logrado asociar a distintas empresas formales de reciclaje, entre ellas, Atiarres, Atelires, Atalir y Madre Teresa de Calcuta. Además, se logró sensibilizar a familias, establecimientos comerciales e instituciones educativas.

Sin embargo, aun así, se cuenta con áreas críticas de acaparamiento de basura. Según la Municipalidad Metropolitana de Lima [MML] (2020) “estas acumulaciones, además de generar un impacto visual negativo, generan riesgos a la salud pública por

fomentar la presencia de vectores, la generación de olores desagradables, la ocupación de vías públicas, la depreciación del entorno, etc” p.39. Un tema importante a tener en cuenta es que estas malas prácticas impiden dar la oportunidad de tener acciones de reciclaje o recuperación del tiempo de vida de ciertos residuos dado que se combinan con residuos especiales, peligrosos y/o biocontaminados.

Para ello, el modelo de “economía circular” parte de un programa de concientización y educación ambiental, y contempla la instalación de una planta de reciclaje y valorización del plástico, con el propósito de obtener big packs de PET en grado alimenticio. Este producto será exportado y el retorno económico auto sustentará la planta de valorización e impulsará las campañas de concientización, brindando externalidades positivas a la población. Con ello, se busca mejorar las políticas que ya se vienen desarrollando y cubrir las brechas y oportunidades de mejora dentro del escenario propuesto (desde ahora llamado, “escenario B”, el cual será comparado con el escenario actual “escenario A”).

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuál es la viabilidad económica y los beneficios que generaría la implementación de un modelo de economía circular enfocado en la gestión del PET en el distrito Cercado de Lima, 2024?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- a) ¿Cuáles son los costos asociados a la implementación de un modelo de economía circular para la gestión del PET en el distrito Cercado de Lima, 2024?
- b) ¿Cuáles son los beneficios económicos y ambientales derivados de la implementación de un modelo de economía circular enfocado en el PET en el distrito Cercado de Lima, 2024?

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar la viabilidad económica y los beneficios sociales y ambientales de implementar un modelo de economía circular enfocado en la gestión del PET en el distrito Cercado de Lima, durante el año 2024.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- a) Identificar los costos asociados a la implementación de un modelo de economía circular enfocado en la gestión del PET en el distrito Cercado de Lima, 2024.
- b) Evaluar los beneficios económicos y ambientales derivados de la implementación del modelo de economía circular para la gestión del PET en el distrito Cercado de Lima, 2024.

## **1.4. Justificación e importancia de la investigación**

### **1.4.1. Justificación**

El Cercado de Lima, al ser el distrito directamente gestionado por la MML y concentrar la mayoría de las instituciones públicas del país (ministerios, Congreso, museos, Banco Central de Reserva, Palacio de Gobierno, entre otros), representa un espacio de alta relevancia a nivel institucional, económico y social. Su gestión tiene un carácter ejemplar que puede servir de modelo para otros distritos a nivel nacional.

Actualmente, el distrito carece de un análisis cuantitativo detallado que permita evaluar la viabilidad económica de implementar un modelo de “economía circular” enfocado en la gestión del PET, la presente investigación busca llenar este vacío proporcionando un estudio riguroso y objetivo que contemple un escenario donde se implementa una planta de reciclaje autogestionada, capaz de reducir significativamente la cantidad de PET destinados a los rellenos sanitarios.

La relevancia de este estudio radica en su potencial para optimizar programas de reciclaje y valorización de PET existentes, así como en su contribución al desarrollo de políticas públicas dirigidas a la transición hacia una “economía circular”, este modelo no solo permitirá reducir costos y generar ingresos, sino también mitigar los impactos ambientales y fortalecer la gestión institucional del distrito.

### **1.4.2. Importancia**

El presente estudio es de gran relevancia porque ofrece un análisis cuantitativo detallado de los costos y beneficios derivados de implementar un modelo de “economía circular” enfocado en la gestión del PET, este análisis contribuirá a evidenciar la factibilidad económica, ambiental y social del proyecto, convirtiéndose en un modelo de referencia para otros distritos que enfrentan problemas similares de gestión de residuos plásticos.



Además, el estudio se enmarca en los ODS, especialmente en el objetivo 12: "Producción y consumo responsables", y el objetivo 11: "Ciudades y comunidades sostenibles", facilitando la transición hacia una "economía circular", al combinar variables económicas y ambientales, esta investigación ofrece un enfoque integral que describe las ventajas y desventajas del sistema propuesto, proporcionando aportes significativos para la resolución analítica.

Finalmente, la importancia de este trabajo también radica en su aporte al campo académico, ya que podrá ser utilizado como referencia por futuros investigadores interesados en evaluar escenarios similares en otros contextos geográficos y administrativos del país, con ello, se fortalece la base de conocimiento sobre "economía circular" y su aplicabilidad en la gestión de residuos plásticos urbanos.

## **1.5. Alcances y Limitaciones**

### **1.5.1. Alcances**

El estudio abarca la aplicación de un modelo de "economía circular" en la gestión de PET del Cercado de Lima, enfocándose en la valorización total del PET generado, se propone estructurar programas de sensibilización y educación ambiental orientados a la ciudadanía y sectores involucrados, así como revisar los programas actuales de reciclaje y valorización implementados en el distrito, además, se contempla un análisis de ingresos económicos positivos proyectados para el distrito a partir de la valorización del PET, complementado con un análisis de sensibilidad que permitirá evaluar distintos escenarios para la obtención de resultados óptimos.

### **1.5.2. Limitaciones**

La investigación enfrenta limitaciones relacionadas con el insuficiente acceso a información actualizada y detallada sobre la generación y gestión de residuos plásticos (PET) en el distrito, otro aspecto es la lentitud en la comunicación con las autoridades y oficinas de gestión de la Municipalidad del Cercado de Lima, lo que puede retrasar la obtención de datos clave. Asimismo, se identifican restricciones en la transparencia de información proporcionada por las empresas privadas adscritas al programa "Recicla Lima", lo que podría limitar el análisis completo de los beneficios económicos y operativos del modelo propuesto.

## **1.6. Hipótesis**

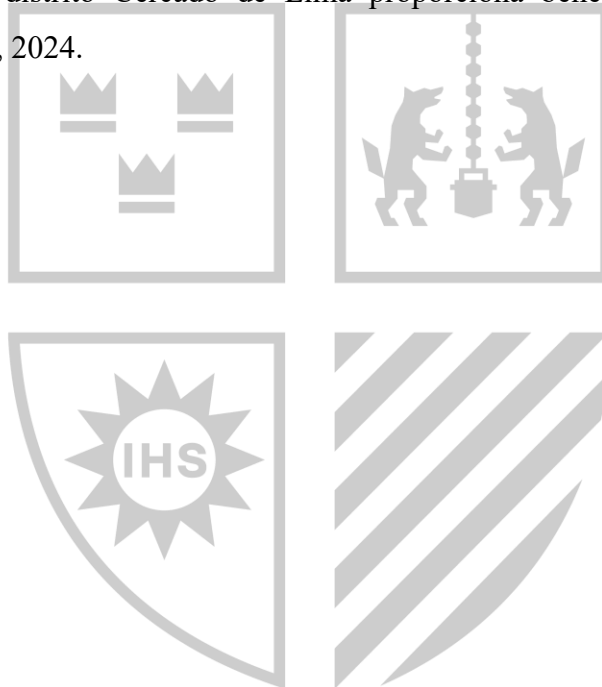
### **Hipótesis general**

La implementación de un modelo de economía circular enfocado en la gestión del PET en el distrito Cercado de Lima es económicamente viable y genera beneficios sociales y ambientales significativos.

### **Hipótesis específica**

Hipótesis específicas:

- a) La implementación del modelo de economía circular enfocado en la gestión del PET en el distrito Cercado de Lima genera costos iniciales significativos asociados a infraestructura, tecnología y capacitación, 2024. (Rentabilidad en el 2024)
- b) La implementación del modelo de economía circular enfocado en la gestión del PET en el distrito Cercado de Lima proporciona beneficios económicos y ambientales, 2024.



## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se desarrolla el Marco Teórico, el cual sustenta la indagación mediante la revisión de antecedentes, bases teóricas y el marco legal relacionado con la “gestión de residuos sólidos y la economía circular”. Los antecedentes permiten identificar investigaciones previas relevantes que abordan experiencias similares en la “gestión de residuos sólidos” y en la aplicación de “modelos de economía circular”. El marco legal establece las normas y políticas vigentes a nivel nacional e internacional que regulan la gestión de residuos y promueven prácticas sostenibles. Finalmente, el marco conceptual define y aclara los principales conceptos relacionados con la “economía circular”, costos y beneficios, así como términos clave asociados a la gestión eficiente de residuos sólidos, brindando un soporte teórico sólido para el desarrollo de esta investigación.

### **2.1. Antecedentes de la investigación**

#### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

Sharma y Chandel (2021), en su trabajo científico *"Análisis de costos de ciclo de vida de la gestión de residuos sólidos municipales en Mumbai, India"*, buscaron analizar los costos y beneficios de diferentes escenarios de gestión de residuos sólidos mediante el método de costo de ciclo de vida (LCC). Este estudio se desarrolló utilizando un enfoque científico-deductivo y cuantitativo, aplicando modelos matemáticos de análisis económico. Evaluaron escenarios como reciclaje, compostaje, digestión anaeróbica, incineración y vertederos, considerando un periodo de 20 años y una tasa de descuento del 11.25%. Los hallazgos mostraron que la opción más económica fue la combinación de reciclaje y vertederos, con un costo neto de 19 USD/tonelada, mientras que la incineración tuvo el costo más elevado, alcanzando los 38 USD/tonelada debido a los altos costos de capital. Además, la sensibilidad del sistema ante variaciones del  $\pm 10\%$

en costos operativos alteró los costos totales en un rango de 14-33%, incrementándose hasta un 65% con variaciones del  $\pm 20\%$ . Los autores concluyeron que la combinación de reciclaje y vertederos es la opción más viable económica y ambientalmente, recomendando esta estrategia para contextos similares en regiones urbanas de economías emergentes.

Ayeleru et al. (2021), en su estudio titulado "Análisis costo-beneficio de una planta de reciclaje de residuos sólidos municipales en Soweto, Sudáfrica", buscaron determinar la viabilidad económica y social de la implementación de una planta de reciclaje en esta región. Utilizaron un enfoque cuantitativo basado en el análisis costo-beneficio (CBA) y validaron los resultados mediante herramientas como Excel, MATLAB, Python y R-Studio. Evaluaron una planta con capacidad de procesamiento de 211 toneladas diarias, encontrando que el Valor Actual Neto (VAN) era de 4.6 millones USD y la Tasa Interna de Retorno (TIR) alcanzaba un 42%, lo que evidenció una alta rentabilidad. Asimismo, estimaron un beneficio total de 35.6 millones USD y la creación de 677 empleos directos. Los resultados posicionan al reciclaje como una solución económica viable para la "gestión de residuos sólidos" urbanos, especialmente en regiones con desafíos de desempleo y pobreza, promoviendo su replicación en contextos similares.

Allevi et al. (2021), en su investigación "Gestión de residuos sólidos municipales en la "economía circular": un modelo de optimización secuencial", exploraron la interacción entre municipios y empresas recicladoras dentro del marco de la "economía circular", con el objetivo de optimizar los beneficios económicos y ambientales, esta pesquisa adoptó un enfoque científico-deductivo y cuantitativo, utilizando un modelo de optimización secuencial basado en desigualdades variacionales. El análisis, desarrollado en la región de Lombardía (Italia), incluyó escenarios que evaluaron la capacidad de reciclaje, los costos de recolección y los impuestos ciudadanos. Los resultados mostraron que el incremento en la capacidad de reciclaje permitió reducir los costos para los ciudadanos y aumentar las ganancias netas de las empresas recicladoras. Además, se concluyó que la colaboración institucional entre municipios y recicladoras optimiza la eficiencia del sistema de gestión de residuos, alineando objetivos económicos y ambientales en el marco de la "economía circular".

Tomić y Schneider (2020), en su artículo "Economía circular en la gestión de residuos: Efectos socioeconómicos", analizaron los impactos económicos y socioambientales de diferentes escenarios de recuperación de energía y materiales en

Croacia, abarcando el periodo 2014-2035. Emplearon la Evaluación del Ciclo de Vida (LCA) y el análisis costo-beneficio con tarifas variables (gate fee), desarrollando un enfoque científico-deductivo cuantitativo. Los resultados mostraron que los escenarios mixtos, que combinan la recuperación de energía y materiales, generan costos promedio más bajos de 70 €/tonelada, con un incremento del 15% en los ingresos totales, en comparación con los sistemas que solo recuperan materiales o energía. Asimismo, los autores destacaron que los escenarios mixtos mejoraron la aceptación social debido a tarifas más accesibles para los ciudadanos, concluyendo que estas estrategias son más sostenibles y replicables en otros contextos urbanos con desafíos similares.

Paes et al. (2020), en su trabajo titulado "Análisis integrado de indicadores económicos y ambientales en la gestión de residuos sólidos municipales", tuvieron como objetivo evaluar el impacto económico y ambiental de la gestión integrada de residuos sólidos en Brasil. Utilizando un enfoque científico-deductivo con métodos LCA y LCC, desarrollaron un modelo que integraba reciclaje, compostaje y tratamiento biológico mecánico (MBT). Los resultados indicaron que estos métodos redujeron los impactos ambientales hasta en un 50% y los costos sociales entre un 31-33%. Concluyeron que la implementación de estas estrategias optimiza la sostenibilidad económica y ambiental de los sistemas de "gestión de residuos sólidos", recomendando su adopción en contextos similares, especialmente en municipios medianos de economías en desarrollo.

Geng et al. (2022), en su estudio "Recuperación de recursos plásticos de residuos en vertederos mediante limpieza en seco", exploraron la viabilidad de implementar tecnologías avanzadas para el reciclaje de plásticos en vertederos, la pesquisa, desarrollado en China, utilizó un enfoque cuantitativo basado en el análisis costo-beneficio, evaluando un dispositivo de limpieza en seco, los resultados mostraron una tasa de recuperación del 94% y un beneficio neto de 311.36 RMB/tonelada, con un costo operativo de 88.64 RMB/tonelada, de igual forma, el calor específico de los plásticos reciclados se mantuvo cercano al material original ( $>35$  MJ/kg), destacando su utilidad en aplicaciones industriales. Los autores concluyeron que el método de limpieza en seco supera a los sistemas tradicionales de lavado en agua, posicionándose como una alternativa eficiente y económica para el reciclaje en vertederos.

Rathore y Sarmah (2020), en su trabajo "Optimización económica, ambiental y social de la gestión de residuos sólidos en la economía circular", buscaron evaluar la viabilidad económica y ambiental de un sistema basado en la producción de biogás y energía a partir de residuos sólidos en India, aplicaron un modelo de optimización no

lineal entero-mixto (MINLP) y el método de optimización por enjambre de partículas (PSO), los resultados indicaron una reducción de costos operativos de INR 30,462,326/día, con una disminución de 186.43 toneladas diarias de emisiones de CO<sub>2</sub>. Además, destacaron el ahorro en costos de transporte y tratamiento ambiental. Se concluyó que la conversión de residuos sólidos en biogás no solo es económica y ambientalmente viable, sino que también contribuye significativamente al modelo de “economía circular”, recomendando su replicación en otros países con desafíos similares.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Huamaní et al. (2020), en su trabajo científico "*Gestión de residuos sólidos de la ciudad de Juliaca - Puno - Perú*", tuvieron como objetivo caracterizar los factores y condiciones de la gestión de residuos sólidos (GRS) en la ciudad, evaluar el potencial de reutilización de estos y determinar los costos y beneficios asociados a estas actividades. El estudio, basado en un enfoque científico-deductivo y cuantitativo, utilizó métodos estadísticos y matemáticos para analizar los datos. Los autores determinaron que, en 2017, la generación anual de residuos sólidos municipales en Juliaca era de 75,701.68 toneladas, de las cuales el 72% eran aprovechables y el 28% no lo eran. Proyectaron que, para 2027, la generación aumentaría a 93,020.14 toneladas. El análisis costo-beneficio mostró que la reutilización mediante compostaje y reciclaje de materiales como cartón, plástico, vidrio y metales generaría una rentabilidad positiva, favoreciendo la sostenibilidad económica y ambiental de la “gestión de residuos sólidos” en Juliaca. Este modelo demostró ser replicable en ciudades de similar dinámica urbana en el Perú.

Rojas y Sánchez (2020), en su investigación titulada "*Caracterización y valorización de los residuos sólidos municipales del distrito de San Bernardino, Cajamarca, 2017*", desarrollaron un estudio para analizar la composición de los residuos sólidos generados en el distrito y evaluar su potencial de valorización económica a través del reciclaje. El enfoque del estudio fue descriptivo y cuantitativo, basado en datos estadísticos recolectados de la población local. Determinaron que la generación diaria promedio de residuos era de 0.38 kg por habitante, con una composición del 55% de residuos orgánicos y el 45% restante de inorgánicos. Los autores identificaron un ingreso potencial de S/. 180,000 anuales mediante la valorización de materiales reciclables como plásticos, metales y vidrio. Concluyeron que la implementación de estrategias de reciclaje no solo puede generar ingresos económicos para la municipalidad, sino también fomentar

la sostenibilidad ambiental y reducir las repercusiones negativas vinculadas al manejo incorrecto de residuos.

Checca (2020) en su estudio *"Mejora en la gestión de residuos sólidos en el distrito de Andahuaylillas, Cusco, basada en la economía circular"*, tuvo como objetivo evaluar la viabilidad técnica y económica de implementar un biodigestor como solución integral para la gestión de residuos sólidos en el distrito. Utilizó un enfoque científico-deductivo combinado con modelos econométricos Probit-Logit para estimar la disposición a pagar (DAP) de los habitantes, complementado con un análisis costo-beneficio. Los hallazgos indicaron que la DAP promedio era de S/. 7.51 por hogar, lo que generaba una relación beneficio/costo de 1.05. Además, la inversión inicial podría recuperarse en cinco años, con una vida útil estimada del biodigestor de 10 años. El sistema propuesto permitió producir fertilizantes orgánicos y generar ahorros energéticos significativos. Los autores concluyeron que esta solución, enmarcada en la economía circular, es sostenible económicamente y ambientalmente, representando un modelo replicable en comunidades rurales con características similares.

Perlas (2022), en su investigación *"Valoración económica por la mejora del sistema de recolección, transporte y limpieza pública de residuos sólidos municipales en el distrito de Putina"*, buscó evaluar la viabilidad económica de un sistema mejorado de gestión integral de residuos sólidos. Utilizando modelos econométricos Logit-Probit y el método de valoración contingente (DAP), el estudio estimó que los hogares estaban dispuestos a pagar un promedio de S/. 5.61 mensuales por la mejora en el servicio. El análisis costo-beneficio mostró un VAN sin financiamiento de S/. 743,934.60 y una TIR del 88%. Este sistema propuesto también fue socialmente aceptable, indicando que los ciudadanos reconocen la importancia de una correcta GRS. Perlas Arenas concluyó que la implementación de este modelo mejorado no solo es económicamente viable, sino también clave para acrecentar la sostenibilidad y eficiencia del sistema de limpieza pública en Putina.

Condori y Colquehuanca (2024) en su trabajo científico *"Diseño de una metodología integral para la gestión de residuos sólidos en José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa"*, desarrollaron un plan integral de gestión ambiental para el periodo 2017-2028, esta pesquisa, con un enfoque técnico-económico, incluyó un análisis costo-beneficio que estimó una inversión inicial de S/. 998,489.30 y un beneficio total proyectado de S/. 1,520,660. La relación beneficio/costo de 1.54 demostró que el modelo propuesto es altamente rentable. Además, el plan incluyó medidas para mejorar la

segregación en origen, optimizar la recolección y fomentar el reciclaje, lo que permitió incrementar la eficiencia de la GRS de un nivel medio-alto a un nivel muy alto, los autores concluyeron que esta metodología integral no solo promueve la sostenibilidad económica y ambiental, sino que también puede ser adaptada a otros distritos con desafíos similares en la gestión de residuos.

Timaná (2024), en su investigación titulada "*Diseño y simulación de una planta de pirólisis para producir petróleo sintético a partir de residuos plásticos*", buscaron establecer la viabilidad técnica y económica de esta tecnología en el contexto peruano. Utilizó un análisis técnico-económico basado en indicadores de rentabilidad como el VAN y la TIR. El proyecto planteado, con una capacidad de procesamiento de 0.2 toneladas métricas por día, mostró un VAN de 1.2 millones USD y una TIR del 23%, con una inversión inicial estimada en 4 millones USD, el sistema diseñado ayudaría a recuperar un 75% de los residuos plásticos procesados en forma de petróleo sintético, lo que contribuiría a mitigar la repercusión ambiental asociada a los residuos plásticos, el autor concluyó que la pirólisis es una tecnología viable para la gestión sostenible de plásticos en el Perú, con beneficios económicos, energéticos y ambientales significativos.

## **2.2.Marco legal**

- a) Ley N° 27972, Ley Orgánica de Municipalidades (2003): Establece las funciones y competencias de las municipalidades provinciales y distritales en materia ambiental y de saneamiento, en su artículo 73, la normativa otorga a las municipalidades la responsabilidad de organizar, regular y supervisar las labores de acopio, traslado, procesamiento y eliminación definitiva de desechos sólidos en sus respectivas jurisdicciones, asimismo, faculta a las municipalidades para implementar programas de segregación en la fuente, promoviendo así la reducción y el reciclaje de residuos (Congreso de la República, 2003). Esta disposición es clave, pues posiciona a las municipalidades como actores principales en la gestión integral de residuos sólidos.
- b) Ley N° 28611, Ley General del Ambiente (2005): Es una normativa fundamental que establece el marco legal para asegurar el derecho de toda persona a vivir en un ambiente saludable y equilibrado, en su artículo 44, la ley establece principios de manejo adecuado de residuos sólidos, como la minimización, reutilización, reciclaje y disposición final segura, además, promueve la aplicación de tecnologías limpias y prácticas de “economía circular” para mitigar el impacto



ambiental derivado de la gestión de residuos (Congreso de la República, 2005). Esta normativa apoya la importancia de avanzar hacia un modelo de "economía circular" que facilite disminuir la producción de desechos y maximizar la utilización de recursos.

- c) Decreto Legislativo N° 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (2016), es la norma principal que regula la gestión integral de residuos sólidos en el Perú, esta ley establece los derechos, responsabilidades y obligaciones de los generadores, operadores y autoridades competentes en todas las etapas del manejo de residuos, desde su generación hasta su disposición final, en su artículo 2, la ley busca la valorización de residuos, instando a la implementación de medidas de reciclaje, reutilización y aprovechamiento energético, en línea con los principios de la "economía circular" (MINAM, 2016), la norma también menciona la necesidad de involucrar a los sectores público y privado, así como a la ciudadanía, en la búsqueda de soluciones sostenibles.
- d) Decreto Supremo N° 005-2010-MINAM, reglamento de la Ley de Recicladores: Tiene como objetivo principal proteger y formalizar la labor de los recicladores, reconociendo su rol en la cadena de gestión de residuos sólidos, la norma promueve la capacitación y organización de los recicladores, garantizando su integración en el sistema de reciclaje formal y su acceso a mejores condiciones laborales (MINAM, 2010), la formalización de los recicladores es un pilar importante en la transición hacia un modelo de "economía circular", ya que su trabajo permite recuperar materiales reciclables y reincorporarlos al ciclo productivo.
- e) Decreto Supremo N° 009-2019-MINAM, Régimen Especial de Gestión y Manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE): regula las competencias de los sujetos implicados en el manejo de los RAEE a lo largo de su ciclo de vida, la norma establece obligaciones específicas para los fabricantes, importadores y operadores de residuos, enfatizando la necesidad de la segregación, recolección y valorización de estos residuos peligrosos (Ministerio del Ambiente, 2019). La adecuada gestión de los RAEE es esencial debido a su alto contenido de materiales tóxicos y su potencial de aprovechamiento, alineándose con los principios de la "economía circular".
- f) Ley N° 30884, regula el plástico de un solo uso y los recipientes descartables (2018), promueve la reducción progresiva del uso de plásticos de un solo uso y

productos descartables, su aplicación busca disminuir la generación de residuos plásticos que contaminan ecosistemas y afectan la salud pública, la normativa impulsa la adopción de alternativas sostenibles y promueve prácticas de consumo responsable (Congreso de la República, 2018), es un complemento importante en el contexto de la investigación, ya que los residuos plásticos constituyen una parte significativa del problema.

- g) Ordenanza Municipal N° 1854 (2014): La Ordenanza Municipal N° 1854 regula la segregación en la fuente y el reciclaje en actividades domiciliarias, comerciales y públicas en la ciudad de Lima, la norma promueve la participación ciudadana en el proceso de valorización de residuos y la implementación de programas de educación ambiental (Municipalidad de Lima Metropolitana, 2014). Esta ordenanza es fundamental para consolidar un modelo circular a nivel local, ya que establece las bases para la creación de sistemas integrados de reciclaje.
- h) Ordenanza Municipal N° 2201 (2019): Esta ordenanza tipifica los montos de los arbitrios municipales por servicios de recolección de residuos sólidos, barrido de calles y otros servicios públicos esenciales. Si bien su enfoque es principalmente financiero, resulta relevante para la investigación en tanto regula los recursos económicos destinados a la gestión de residuos en el Cercado de Lima (Municipalidad Metropolitana de Lima, 2019)
- i) Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PLANRES) 2016-2024: Mediante la Resolución Ministerial N° 191-2016-MINAM, el PLANRES establece objetivos y estrategias para mejorar la gestión de residuos sólidos en el país, sus ejes principales incluyen la ampliación de la cobertura del servicio de limpieza pública, la minimización de residuos y el fomento de la “economía circular” mediante la valorización de materiales reciclables (Ministerio del Ambiente, 2017).

## **2.3.Marco conceptual**

### **2.3.1. Desarrollo Sostenible y Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)**

La conceptualización de desarrollo sostenible ha evolucionado significativamente, cobrando especial relevancia en América Latina debido a problemáticas críticas como la deforestación masiva, la creciente contaminación urbana

y el incremento acelerado en la generación de residuos sólidos, el autor Gudynas (2009) destaca cómo esta evolución ha catalizado importantes movimientos sociales y una intensa actividad académica, orientando nuevos esfuerzos hacia la construcción de infraestructuras eficientes y la reducción de impactos urbanos en el consumo de materia y energía.

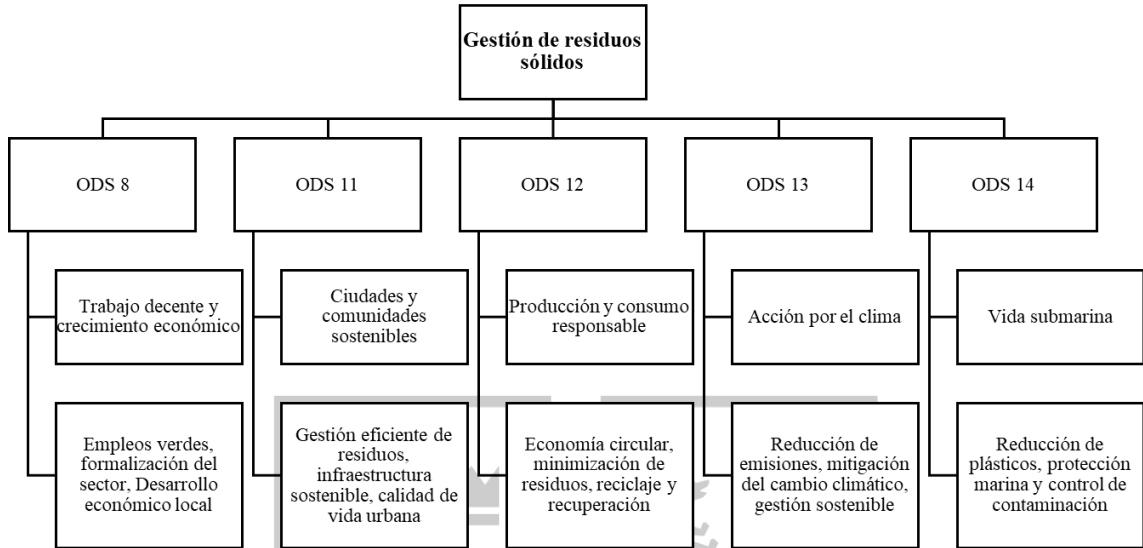
El punto de inflexión en la conceptualización del desarrollo sostenible se encuentra en el Informe Brundtland de las Naciones Unidas (1987), que definió el principio esencial de cubrir las necesidades actuales sin poner en riesgo la habilidad de las generaciones venideras para cubrir las de ellas, este enfoque reconoce la inseparabilidad entre ambiente y desarrollo, como señala Pierri (2001) argumentando que el desarrollo no puede sostenerse con una base de recursos deteriorada, ni el medio ambiente puede protegerse de las consecuencias de la pérdida ambiental.

Esta definición ha generado diversas interpretaciones y críticas académicas, el autor Riechmann (1995) enfatiza que la aplicación efectiva del desarrollo sostenible requiere condiciones específicas: crecimiento económico focalizado en áreas con necesidades básicas insatisfechas, control demográfico y uso más austero de recursos naturales, el PNUD ha ampliado el concepto hacia el "desarrollo humano sostenible", incorporando dimensiones culturales, sociales, económicas y políticas (Aguado et al., 2008). De manera similar el autor Angulo (2010) refuerza esta visión integral, vinculando las decisiones económicas con el bienestar social y ecológico.

La Agenda 2030 establece 17 ODS interconectados que encaran los dilemas internacionales más urgentes, en el contexto de la “gestión de residuos sólidos” y la “economía circular”, cinco objetivos son particularmente relevantes:

## Figura 2

### Interrelación entre ODS y la Gestión de Residuos Sólidos



*Nota.* Elaboración en base a los “objetivos de Desarrollo Sostenible”

*Ilustración 2* Interrelación entre ODS y la Gestión de Residuos Sólidos

En 2012, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible en Río de Janeiro marcó un hito al gestar los ODS, estos objetivos, formalizados en la Agenda 2030, representan un marco global para abordar desafíos ambientales, políticos y económicos contemporáneos, en el contexto de la GRS y la “economía circular”, cinco objetivos son particularmente relevantes:

- ODS 8 – “Trabajo Decente y Crecimiento Económico De acuerdo con el Banco Mundial” (2020), la economía circular y la GRS pueden generar oportunidades significativas de empleo formal y crecimiento económico, el sector del reciclaje formal emplea aproximadamente a 1.5 millones de personas en América Latina, con potencial para generar más empleos verdes mediante la formalización y modernización del sector.
- ODS 11 - Ciudades y Comunidades Sostenibles La eficiente GRS es básica para el desarrollo urbano sostenible, según ONU-Habitat (2021), las ciudades generan en torno del 70% de los residuos globales, lo que hace que la gestión de residuos sea crucial para la sostenibilidad urbana, la materialización de sistemas integrados

de GRS puede aminorar relevantemente las emisiones de gases de efecto invernadero y elevar el confort de habitabilidad en ambientes urbanos.

c) ODS 12 - Producción y Consumo Responsables, este objetivo es central para la transición hacia una “economía circular”, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2021) destaca que la adopción de prácticas de producción más limpia y consumo responsable podría minimizar la generación global de residuos en hasta un 45% para 2030, las estrategias clave incluyen:

- Diseño de productos para la durabilidad y reciclabilidad
- Optimización de cadenas de suministro
- Promoción de patrones de consumo sostenibles

d) ODS 13 - Acción por el Clima El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2022) señala que la gestión mejorada de residuos podrá contribuir altamente en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la descomposición de residuos orgánicos en vertederos representa aproximadamente el 5% de las emisiones globales, lo que destaca el implementar sistemas de gestión más eficientes.

e) ODS 14 - Vida Submarina, la gestión inadecuada de residuos sólidos es una de las principales fuentes de contaminación marina, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2021) estima que aproximadamente 11 millones de toneladas de plástico ingresan a los océanos anualmente, amenazando los ecosistemas marinos y la biodiversidad.

### **2.3.2. Economía circular**

Constituye un cambio paradigmático en la forma de concebir los sistemas económicos y productivos. Según Geissdoerfer et al. (2017), este modelo emergió como respuesta a los desafíos de sostenibilidad planteados por el sistema económico lineal tradicional, este concepto ha evolucionado desde las primeras formulaciones en el año 1970, con el trabajo pionero de Walter Stahel sobre la "economía de rendimiento", hasta convertirse en un marco integral para la sostenibilidad económica y ambiental.

Los orígenes conceptuales de la “economía circular” pueden rastrearse hasta diferentes escuelas de pensamiento, Turner y Pearce (1990) fueron los primeros en aplicar formalmente el término "economía circular" en su obra "Economics of Natural Resources and the Environment", donde respaldaron la necesidad de considerar las funciones ambientales como parte integral del sistema económico, tal perspectiva fue afectada por

Boulding (1966), quien presentó la visión de la "economía del astronauta", enfatizando los límites planetarios y la necesidad de sistemas cerrados.

La evolución del concepto se vio enriquecida por diversas corrientes teóricas. Stahel y Reday (2020) desarrollaron el concepto de "economía de bucle cerrado", enfocándose en la prolongación del ciclo de vida del artículo y las estrategias de prevención de residuos, por su parte, Frosch y Gallopoulos (1989) desarrollaron el concepto de "ecología industrial", que examina los flujos de materiales y energía en sistemas industriales, estableciendo paralelos con los ecosistemas naturales (Saavedra et al., 2018).

Un hito significativo en esta evolución fue el desarrollo del marco "Cradle to Cradle" (De la Cuna a la Cuna) por McDonough y Braungart (2002), que propuso un sistema de diseño regenerativo donde los residuos se convierten en "nutrientes" para nuevos ciclos de producción, tal enfoque influyó significativamente en la conceptualización moderna de la economía circular, especialmente en lo referente al diseño de productos y sistemas (Merli et al., 2018).

La consolidación del concepto como lo conocemos hoy se debe en gran medida al trabajo de la Fundación Ellen MacArthur, establecida en 2010, la pesquisa y colaboración con McKinsey & Company resultó en la publicación "Towards the Circular Economy" (2013), que estableció un marco conceptual coherente y aplicable a nivel empresarial y político, como señalan Kirchherr et al. (2017), tras analizar 114 definiciones, se comprende la economía circular como un sistema económico fundamentado en modelos empresariales que sustituyen la idea de 'fin de vida' por la de disminuir, reaprovechar, reciclar y rescatar insumos en los ciclos de manufactura, logística y consumo.

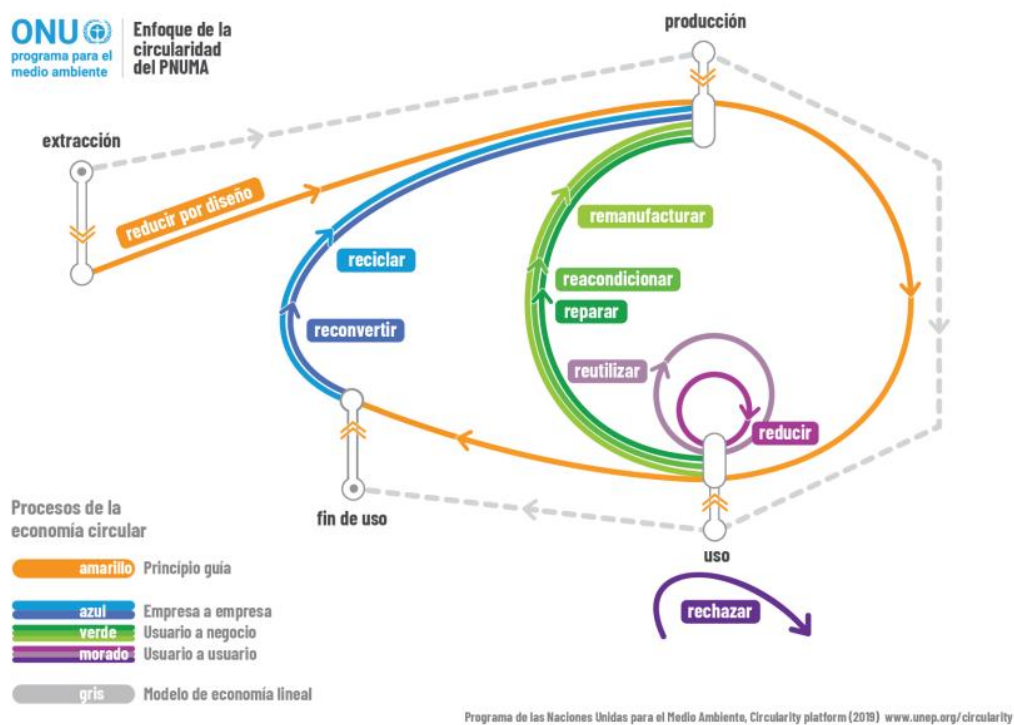
En el contexto actual, la "economía circular" ha evolucionado más allá de la simple GRS para convertirse en un marco integral de transformación económica, Prieto-Sandoval et al. (2018) destacan que este modelo opera en múltiples niveles, desde el diseño de productos hasta la organización de sistemas industriales completos, abarcando aspectos técnicos, económicos y sociales, tal evolución ha llevado a una comprensión más sofisticada de cómo los principios circulares pueden aplicarse en diferentes contextos y escalas.

La "economía circular" se ha establecido como un modelo de crecimiento económico que persigue optimizar el uso eficaz de los recursos por medio de su reutilización, reciclaje y recuperación, reduciendo así los residuos producidos, según la

Ellen MacArthur Foundation (2013), este modelo se fundamenta en tres principios fundamentales que han emergido de esta evolución histórica y conceptual, a diferencia del modelo lineal, caracterizado por un ciclo de "usar y desechar", la "economía circular" se centra en la preservación del capital natural, la mejora integral del rendimiento de los recursos y la minimización de externalidades negativas, tales características, desarrolladas y refinadas a lo largo de décadas de investigación y práctica, hacen de la "economía circular" una estrategia no solo ambientalmente sostenible, sino también económicamente viable, especialmente en sectores como la GRS.

**Figura 3**

*Modelo de economía Circular*



*Nota.* Extraído de Naciones Unidas (2019)

*Ilustración 3 Modelo de economía circular*

a. Principios fundamentales

La migración a un circuito de economía circular exige la adopción de principios específicos que guían su implementación y desarrollo, tales principios, según Bocken et al. (2016) y la Ellen MacArthur Foundation (2013), constituyen el núcleo operativo del modelo circular y determinan las estrategias prácticas para su aplicación en diferentes contextos, su comprensión resulta esencial para el diseño de directrices y sistemas de gestión que busquen transformar el modelo económico tradicional hacia uno más

sostenible y regenerativo, como señalan Merli et al. (2018), estos principios no solo proporcionan una base teórica sólida, sino que también ofrecen directrices prácticas para su implementación en diversos sectores, incluyendo la “gestión de residuos sólidos” municipales.

Seguidamente, se muestran los tres principios fundamentales que rigen la economía circular.

- **Preservar y mejorar el capital natural:** Según Reike et al. (2018) , este principio se basa en el control de las reservas finitas y el equilibrio de los flujos de recursos renovables, para Morsetto (2020), el sistema circular promueve el diseño de recursos mediante ciclos de desensamblado y reutilización, priorizando tecnologías y procesos que utilicen recursos renovables o de mayor rendimiento, en este contexto, Pieroni et al. (2019) destacan dos conceptos fundamentales: el ecodiseño y la economía funcional, como estrategias clave para la reducción del derroche, de igual forma Ellen MacArthur Foundation (2019), indican que este principio requiere una gestión adaptativa que permita mantener y mejorar los recursos naturales a lo largo del tiempo.
- **Optimizar el uso de los recursos:** De acuerdo con Kalmykova et al. (2018) este principio implica el diseño para la refabricación, reacondicionamiento y reciclaje, conocido como las tres “R”. Kirchherr et al. (2017) señalan que el proceso comienza con la reutilización, pero evoluciona cuando el producto, tras una reparación-renovación, pierde sus funciones físicas y requiere refabricación. En este punto, Geissdoerfer et al. (2020) identifican el concepto de "up-cycling", donde el valor del objeto recién creado supera al original. Como argumentan Jesus y Mendonça (2018), al agotarse la operatividad del bien, el reciclaje se vuelve esencial para maximizar la valorización de los materiales constituyentes.
- **Reducir las externalidades negativas:** Este principio, según Ghisellini et al. (2016), se enfoca en minimizar los impactos negativos en áreas críticas del uso humano, incluyendo alimentación, movilidad, vivienda, educación, salud y ocio, Murray et al. (2017) enfatizan la importancia de utilizar energía renovable en este ciclo, como señalan Korhonen et al. (2018), la reducción de externalidades negativas no solo beneficia al



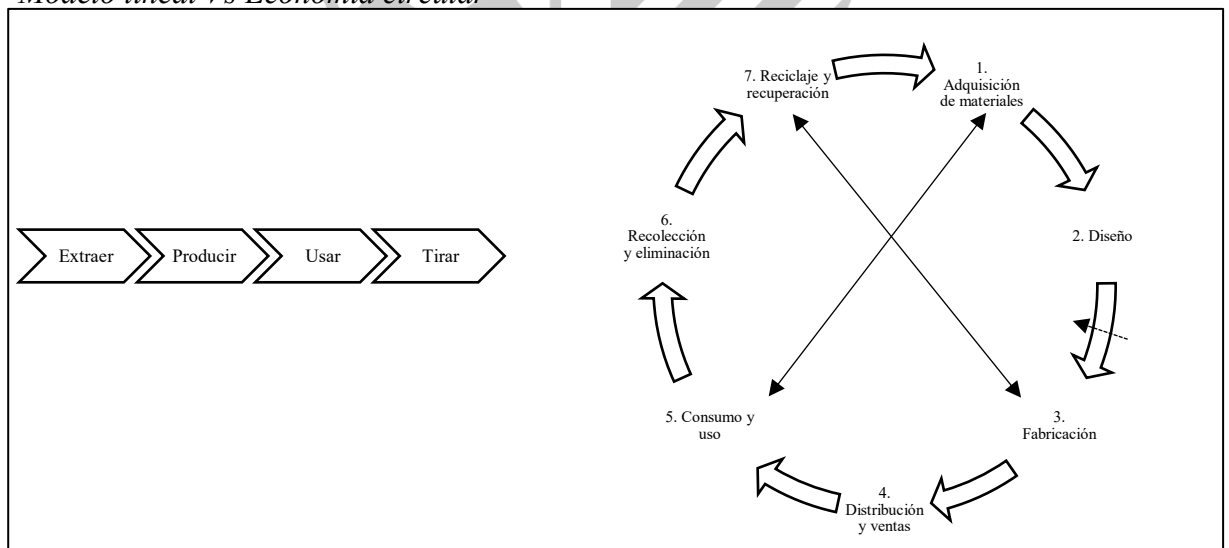
medio ambiente, sino que también genera valor económico y social a largo plazo.

La diferencia entre la “economía circular” y la economía lineal es fundamental tanto en su enfoque filosófico como operativo, la economía lineal, que ha dominado los sistemas productivos durante siglos, se caracteriza por un proceso lineal de "extraer-usar-desechar" donde los recursos son utilizados una única vez antes de convertirse en residuos, este modelo ha resultado en graves consecuencias ambientales, incluyendo el agotamiento de recursos naturales, la degradación de ecosistemas y la generación excesiva de residuos (Ghisellini et al., 2016).

Entonces, la “economía circular” adopta una perspectiva regenerativa fundamentada en la preservación del capital natural y la maximización del valor de los recursos, manteniendo los materiales dentro del ciclo productivo durante el mayor tiempo posible, como señalan Kalmykova et al. (2018), este modelo no solo busca minimizar el uso de recursos, sino que propone una transformación fundamental del sistema económico al desacoplar el crecimiento de la explotación intensiva de materias primas, tal enfoque promueve la eco-efectividad sobre la simple ecoeficiencia, buscando no solo reducir impactos negativos sino generar efectos positivos en los sistemas económicos y ambientales (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

**Figura 4**

*Modelo lineal Vs Economía circular*



*Nota.* Adaptado de Kalmykova et al. (2018)

*Ilustración 4 Modelo liberal vs Economía Circular*

Los beneficios económicos, sociales y ambientales de la “economía circular” son múltiples y evidentes, en el rubro económico, la implementación de este modelo genera una optimización de los costos de producción al reducir la dependencia de materias primas y fomentar el uso de materiales reciclados, la transición verde podría incrementar el empleo neto en un 10.5% en América Latina hacia 2030, mediante inversiones públicas y privadas que impulsen sectores sostenibles como la “economía circular” e hidrógeno verde, este enfoque reduciría emisiones y optimizaría recursos en sectores clave, promoviendo un desarrollo económico más eficiente y sostenible (OECD et al., 2022), de igual modo, se calcula que la “economía circular” podría representar un ahorro anual global de hasta 700 mil millones de dólares en insumos y materiales (Marcelino-Aranda et al., 2022).

En términos de productividad y competitividad, se busca aplicar o adoptar prácticas circulares que promueva la innovación y la inversión en tecnologías sostenibles, lo cual fortalece el mercado laboral y dinamiza sectores emergentes.

### **2.3.3. Vinculación del PET en el Marco de los ODS**

La gestión sostenible del PET (tereftalato de polietileno) representa un elemento crítico en la consecución de los ODS, considerando su prevalencia en las cadenas de valor globales y su impacto en los sistemas ambientales, sociales y económicos, este material, ampliamente aplicado en las industrias alimentaria, textil y de embalaje, requiere un análisis específico de su contribución a las metas globales de sostenibilidad.

En el contexto del ODS 8, enfocado en el trabajo decente y crecimiento económico, la industria del reciclaje del PET nace como un sector económico con gran potencial, el autor Alarcón et al. (2023) reporta que el sector del reciclaje en América Latina genera más de 4.8 millones de empleos directos e indirectos, con perspectivas de crecimiento mediante la formalización y tecnificación del sector. Este potencial de generación de empleo verde representa una oportunidad significativa para el desarrollo económico sostenible.

Respecto al ODS 11, sobre ciudades y comunidades sostenibles, la gestión eficiente del PET constituye un pilar clave para el desarrollo urbano sostenible, en América Latina y el Caribe, la generación promedio de residuos sólidos municipales se estima en 0.99 kg/hab./día, reflejando una tendencia creciente en la región, los plásticos, incluidos los envases de PET, representan un componente relevante dentro de los

materiales aprovechables, destacándose su importancia en las estrategias de reciclaje y “economía circular” (Alarcón et al., 2023). En el caso específico de Perú, MINAM (2018) indica que solo el 1.9% del PET se recicla efectivamente, evidenciando un amplio margen para mejorar la gestión urbana de este material.

La contribución al ODS 12, centrado en la producción y consumo responsables, requiere transformaciones significativas en los patrones actuales, el PNUMA (2021) proyecta un escenario alarmante donde la cantidad de residuos plásticos en América Latina podría duplicarse para 2040, alcanzando 63.1 millones de toneladas anuales, esta proyección subraya la urgencia de manejar prácticas más sostenibles en la gestión del PET.

En relación con el ODS 13, sobre acción climática, la gestión adecuada del PET contribuye significativamente a la contención del cambio climático, el reciclaje de PET genera ahorros energéticos sustanciales comparados con la producción de material virgen, además de reducir las emisiones asociadas con la disposición inadecuada en vertederos, las Naciones Unidas (2021) estima que la optimización en la gestión de plásticos podría reducir las emisiones del sector en hasta un 40% para 2050.

El ODS 14, enfocado en la vida submarina, encuentra en la gestión del PET un factor crítico para la preservación de ecosistemas marinos, se estima que cada año llegan al océano al menos 8 millones de toneladas de plástico, equivalente a un camión de basura por minuto, cifra que podría duplicarse en 2030 y cuadruplicarse en 2050, este problema, vinculado a la gestión de residuos y aguas residuales, podría alcanzar hasta 250 millones de toneladas para 2025 (CEPAL, 2021).

La implementación efectiva de estas vinculaciones requiere un enfoque sistémico que integre aspectos económicos, sociales y ambientales, la dimensión económica debe considerar el desarrollo de mercados para materiales reciclados y la inversión en infraestructura, en el ámbito social, resulta resaltante la inclusión de recicladores informales y el fortalecimiento de capacidades locales, la dimensión ambiental busca estrategias efectivas para la disminución de la contaminación y la conservación de recursos naturales.

Los desafíos actuales incluyen importantes brechas en infraestructura de recolección y procesamiento, limitada coordinación entre actores y la necesidad de marcos regulatorios más robustos, la gestión sostenible del PET representa así un elemento catalizador para el cumplimiento de múltiples ODS, requiriendo un enfoque integrado que considere las diversas dimensiones del desarrollo sostenible, su adecuada

gestión no solo contribuye a la preservación ambiental sino también al desarrollo económico y social de las comunidades involucradas en su cadena de valor.

#### **2.3.4. Aplicación del Modelo de Economía Circular en la Gestión de Plásticos**

El PET es uno de los materiales plásticos más utilizados a nivel global debido a su versatilidad, durabilidad y bajo costo de producción, sin embargo, su alta demanda y las deficiencias en su gestión dentro del modelo lineal tradicional han generado impactos negativos significativos en el ambiente, incluyendo emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y acumulación de residuos en ecosistemas terrestres y acuáticos (Johansen et al., 2022; Eriksen et al., 2019).

La “economía circular”, como modelo alternativo, muestra soluciones integrales para cambiar y mejorar la gestión del PET mediante estrategias que incumbe toda la cadena de valor del material, desde su diseño hasta su reciclaje final.

- a) **Diseño para la Circularidad:** El diseño inicial de productos a base de PET tiene un impacto crucial en su potencial de reciclaje y reutilización. Según Johansen et al. (2022), el diseño circular se centra en minimizar la contaminación del PET reciclado y garantizar que los productos sean fácilmente reciclables desde su concepción, esto incluye la reducción de la complejidad en la composición de los envases, evitando el uso de polímeros mixtos que dificulten los procesos de separación y reciclaje, estudios recientes destacan la necesidad de adoptar estándares de diseño que prioricen la reciclabilidad sin comprometer características como la seguridad alimentaria, la ligereza y la resistencia del producto (Eriksen et al., 2019; Gall et al., 2020).

La contaminación del PET reciclado con residuos orgánicos o inorgánicos sigue siendo un desafío clave, afectando la calidad del material reciclado y limitando su reincorporación en la producción de nuevos productos, Iacovidou et al. (2017) sugieren que la solución a este problema radica en la integración de tecnologías de marcado durante el diseño inicial, lo que facilitaría procesos avanzados de clasificación y mejoraría la trazabilidad a lo largo de la cadena de valor.

- b) **Sistemas de Producción y Manufactura:** La producción de artículos de PET enfrenta retos significativos al incorporar materiales reciclados en lugar de resinas vírgenes, según Eriksen et al. (2019), los principales problemas surgen de la variabilidad en la calidad del PET reciclado, lo que puede comprometer las propiedades mecánicas del producto final, esto requiere un balance cuidadoso

entre el uso de PET reciclado y virgen, asegurando la funcionalidad del producto sin aumentar costos de producción.

Además, los procesos de manufactura deben adoptar enfoques innovadores, como la integración de nanocompuestos en la mezcla de PET reciclado, para mejorar sus propiedades y reducir los costos asociados (Sarfraz et al., 2020). Sin embargo, Johansen et al. (2022) señalan que la falta de estándares técnicos uniformes y la infraestructura limitada para el reciclaje químico y mecánico del PET representan barreras significativas para la implementación de estos sistemas de producción más circulares.

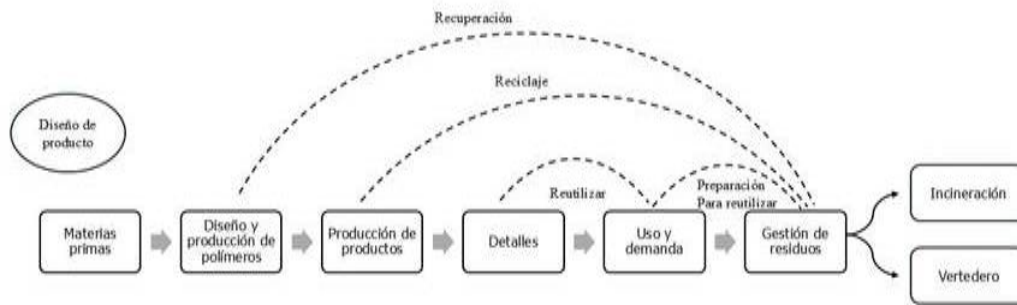
- c) **Gestión del Uso y Consumo:** La fase de uso y consumo del PET es crítica en la transición hacia un modelo circular, ya que involucra directamente la participación de los consumidores, estudios como los de Ghisellini et al. (2016) destacan la importancia de sistemas eficientes de información al consumidor, los cuales sensibilicen sobre la correcta segregación de residuos y fomenten cambios de comportamiento hacia patrones de consumo más sostenibles, en este contexto, Johansen et al. (2022) subrayan que los esfuerzos educativos deben estar acompañados por políticas públicas que incentiven la devolución de envases de PET, como los sistemas de depósito y retorno, que han demostrado ser efectivos en países europeos para aumentar las tasas de reciclaje.
- d) **Sistemas de Recuperación y Reciclaje:** El reciclaje del PET postconsumo es una de las etapas más estudiadas dentro del modelo de “economía circular”. Eriksen et al. (2019) identifican dos tecnologías principales: el reciclaje mecánico y el reciclaje químico. Si bien el reciclaje mecánico es más ampliamente utilizado debido a su menor costo y huella de carbono, el reciclaje químico se presenta como una solución viable para procesar residuos plásticos altamente contaminados o mezclados.

No obstante, la eficiencia de ambos sistemas depende en gran medida de la infraestructura de recolección y clasificación. Según Brouwer et al. (2018), los sistemas de recolección deben garantizar un flujo homogéneo de residuos plásticos para maximizar las tasas de recuperación. En este contexto, tecnologías como la clasificación basada en trazadores (Gasde et al., 2020) y los sistemas de detección automática de polímeros han demostrado ser herramientas valiosas para mejorar la calidad del PET reciclado.

A continuación, la figura 5 presenta el gráfico del sistema circular del PET, propuesto por Johansen et al. (2022), que ilustra las etapas clave de diseño, producción, uso y reciclaje dentro de un enfoque de “economía circular”.

### Figura 5

*Desafíos principales en las fases de la cadena de valor del plástico en el modelo de economía circular*



*Nota.* Adaptado de Johansen et al. (2022)

*Ilustración 5* Desafíos principales en las fases de la cadena de valor del plástico en el modelo de economía circular

- e) Barreras y Requisitos para la Implementación: a pesar de los avances tecnológicos, la transición hacia un sistema circular para el PET enfrenta varias barreras, estas incluyen limitaciones técnicas, como la contaminación cruzada en el flujo de residuos, y desafíos económicos, como los altos costos iniciales de inversión en tecnologías de reciclaje químico y mecánico Meys et al. (2020), además, se requieren marcos regulatorios más estrictos que promuevan la cooperación entre los diferentes actores de la cadena de valor, así como mayores incentivos para la innovación tecnológica y la educación ambiental (Johansen et al., 2022).

La materialización del modelo de “economía circular” en la gestión del PET no solo representa una solución para potenciar el aprovechamiento de insumos y contener la contaminación, sino que también tiene el potencial de generar beneficios económicos y sociales significativos, sin embargo, lograr un sistema verdaderamente circular requerirá superar desafíos técnicos, económicos y sociales a través de la innovación, la colaboración intersectorial y el establecimiento de políticas públicas efectivas, el modelo del PET puede servir como una base sólida para replicar estrategias circulares en otros materiales y sectores industriales.

### 2.3.5. Residuos Sólidos

Constituyen un elemento fundamental en la gestión ambiental urbana, según el INEI (2023), estos se definen como flujos de materiales gaseosos, sólidos, líquidos y energía, que se descartan, descargan o emiten por establecimientos y hogares mediante sus procesos de manufactura, aprovechamiento o aglomeración.

Esta conceptualización ha experimentado una evolución significativa con la promulgación del Decreto Legislativo N°1278, que establece la nueva “Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos”, el MINAM (2022) enfatiza que este marco normativo introduce un cambio paradigmático en la concepción de los residuos sólidos, que deben ser considerados como insumos para otras industrias, descartando definitivamente el concepto tradicional de "basura", este nuevo enfoque promueve la industrialización del reciclaje, planteando el desarrollo de una industria a gran escala capaz de generar mayores ingresos, empleo e inversión, mientras contribuye a la restauración del bienestar medioambiental.

Los residuos sólidos se segmentan conforme a múltiples parámetros establecidos por el MINAM, por su origen, pueden ser domiciliarios, comerciales, de limpieza, industriales, hospitalarios, de construcción, agropecuarios o de actividades especiales. Según su ámbito de gestión, se categorizan en municipales y no municipales, adicionalmente, considerando su nivel de peligrosidad, se clasifican en peligrosos y no peligrosos, tal clasificación resulta fundamental para establecer los protocolos y responsabilidades en su manejo.

En el contexto específico de la presente indagación, el análisis se cimenta en la gestión de residuos municipales no peligrosos de origen domiciliario, considerando su relevancia en el ámbito urbano y su potencial de valorización dentro del modelo de economía circular.

#### a) Gestión integral de residuos sólidos

Comprende una serie de etapas secuenciales diseñadas para maximizar la eficiencia en el manejo de los residuos; de acuerdo con el Ministerio del Ambiente, este proceso se estructura a través de diez etapas fundamentales que abarcan desde la manufactura hasta la destinación definitiva de los desechos.

**Tabla 1**

*Procesos de la gestión de Residuos Sólidos*

Proceso	Especificación
---------	----------------

1.Minimización	Reducción máxima posible del volumen y peligrosidad de RR. SS a través de estrategias de prevención
2.Segregación en la fuente	Agrupación de RR. SS según su clasificación. Se da en hogares, empresas, obras y lugares públicos.
3.Almacenamiento	Acumulación de RR. SS en lugares adecuados y que estén acondicionados para que no se proliferen.
4.Recolección	Recolección organizada del residuo debidamente almacenado y segregado
5.Reaprovechamiento	Proceso previo en el cual se clasifica los residuos que pueden obtener un beneficio o reinsertarse al mercado, o extender tu periodo de vida.
6.Comercialización	Acción de inserción al mercado en el cual se compra/vende RR. SS para obtener beneficios económicos y se ingresan a lugares especializados en su gestión.
7.Transporte	Una organización previa referente a las rutas y horarios que deben conocer a la población.
8.Tratamiento	Acción que pretende reducir la cantidad, nivel de peligrosidad y efectos en la salud. Puede ser de carácter físico, químico o biológico.
9.Transferencia	Trasvase de RR. SS de un vehículo de poca capacidad a uno con mayor volumen en M3 y capacidad en TN.
10.Disposición final	Acción en la cual se da un final a la cadena de vida de un material. Debe ser realizado en un relleno Sanitario para RR. SS No peligrosos y un relleno de Seguridad para RR. SS Peligrosos.

*Nota.* Elaboración propia en base a Decreto Legislativo N°1278 (2017)

**Tabla 1** *Procesos de la gestión de Residuos Sólidos*

La caracterización de residuos sólidos constituye un instrumento de gestión fundamental que, según MINAM, proporciona información detallada sobre la generación diaria de residuos. Este estudio requiere la recolección de datos específicos sobre composición, cantidad, humedad y densidad de los residuos, información esencial para desarrollar proyecciones y diseñar políticas de gestión e inversión en diferentes horizontes temporales.

El “Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos” (SIGERSOL) complementa este marco de gestión al proporcionar una herramienta digital para el registro y seguimiento de las cantidades de residuos generados tanto por municipalidades como por empresas del sector privado, facilitando la toma de decisiones basada en evidencia.



Los residuos sólidos tienen distintas clasificaciones; pueden ser determinados por su origen, el cual puede ser domiciliario, comercial, de limpieza, hospitalario, industrial, de construcción, agropecuario y de actividades especiales. A su vez, según la gestión que se realiza puede ser de ámbito municipal y no municipal; además, según su nivel de peligrosidad puede ser considerado peligroso y no peligroso.

La presente indagación estará direccionada en la gestión de residuos municipales no peligrosos de origen domiciliario.

#### **b) Caracterización de Residuos Sólidos**

El estudio de caracterización de residuos es un instrumento de gestión, el cual brinda el acceso a información detallada sobre la generación diaria de residuos (Decreto Legislativo N°1278, 2017). Para obtener la información precisa se requiere un estudio en el cual debe obtenerse la siguiente información: Composición, cantidad, humedad y densidad. La recolección de esta información permite desarrollar proyecciones y diseñar políticas de gestión e inversión para el proceso decisional en lapsos breves, intermedios y prolongados.

#### **c) Gestión de Residuos Sólidos**

En la historia, la GRS tiene cambios trascendentales a partir de factores como la demografía, la industrialización, la globalización y los nuevos flujos de producción en base a nuevas necesidades de la población.

Según Tello et. al (2018), en las culturas prehispánicas la limpieza pública era parte de una actividad diaria de la ciudadanía. Los residuos se recogían y se llevaban a tiraderos ubicados en espacios pantanosos. Aquí estos residuos se quemaban, mientras que la materia séptica servía de abono. Sin embargo, con la conquista y la colonia se adaptaron costumbres de Europa. Es aquí donde los protocolos de suministros, recogida y traslado cambian en forma más que en fondo. Parte de estos cambios es la transición de vertederos en donde se quemaban los residuos hacia rellenos sanitarios.

Sin embargo, estas prácticas como la disposición en rellenos sanitarios se vuelven ineficientes tras el gran incremento demográfico a lo largo de los años. Según Abarca-Guerrero et al. (2015) el incremento demográfico, el crecimiento económico, la rápida urbanización y la mejora en estándares de vida han incrementado la generación de residuos sólidos.

Tello et al. (2018), el crecimiento medio de América Latina en los últimos años fue de 4%, lo cual mejora el comportamiento económico, traducido en mejoras en ámbitos

como salud, educación, ampliación y modernización de servicios públicos, y como resultado, la disminución de la pobreza y aumento de clase media.

Sin embargo, en países como Perú, existe históricamente una asimetría en la distribución del bienestar. Esto se evidencia en que las mayores oportunidades, servicios básicos, tecnología y prosperidad es visualizada en la capital Lima.

Tello et al. (2018) señalan que factores como la migración, la urbanización y el aumento de los ingresos familiares han incrementado la generación de residuos sólidos, lo que implica la necesidad de implementar estrategias preventivas dentro de la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU).

Es por ello por lo que la capacidad de municipalidades, regiones y estado se impiden de cubrir el nivel diario de residuos que se generan en las ciudades. Para ello, es necesario el diseño de políticas de gestión que traigan consigo cambios en educación, cultura y transición hacia un modelo circular.

Según CEMPRE (1998), en las grandes y pequeñas ciudades, se afrontan fallas organizativas, tácticas y operacionales que impiden la correcta operatividad de la calidad del aseo público. Se estima que en el año 2021 en Lima se generaron alrededor de 3 millones 863mil toneladas de residuos sólidos domiciliarios, siendo un 0.5% menor al año 2020.

Según el reporte del INEI, se estimó que diariamente (toneladas/día) se calculó 1 mill 133 toneladas/día en San Juan de Lurigancho, 819.8 toneladas/día en San Martín de Porres, 706.4 toneladas/día en Ate. Por otro lado, la mayor generación per cápita se registró en La Victoria (2.1kg/hab/día), Miraflores y San Luis (1.6kg/hab/día), San Juan de Miraflores (1.5kg/hab/día), El Agustino (1.4kg/hab/Día), Carabayllo y Breña (1.2kg/hab/día).

Tras 15 años de la promulgación de La Ley General de Residuos Sólidos, nuestro país sigue teniendo problemas graves en la limpieza pública. El 75% de la ciudadanía vive en ciudades y la producción promedio de residuos por peruano es mayor a medio kilo por día. Esto se evidencia en el aumento de 13 mil T/día a 18 mil T/día, de los cuales 50% carecen de una disposición adecuada, generando sobreacumulación, puntos críticos, reducción de la belleza paisajística, ríos contaminados, plagas de roedores e insectos e inseguridad.

El rol de toda municipalidad es brindar el servicio de recolección, transporte y disposición adecuada de todos los residuos, lo cual es retribuido por un eficiente cobro de arbitrios. En Perú, según el decreto legislativo 1278, ley de gestión Integral de

Residuos Sólidos, los residuos sólidos municipales están integrados por los desechos generados en los hogares y aquellos derivados del mantenimiento y aseo de áreas comunes, tales como playas, establecimientos comerciales y otras actividades urbanas ajenas al ámbito residencial. A su vez, la vinculación de actores entre los cuales están las autoridades, las empresas en sus categorías (micro, medianas y grandes empresas) y los ciudadanos será trascendental para que se conciba en el reciclaje un tema que forma parte de la responsabilidad de toda persona.

Ahora, los siguientes conceptos dentro de la ley son importantes temas a resaltar:

- Responsabilidad extendida y compartida: En Perú se entiende como una corresponsabilidad social, la cual requiere de participación conjunta, coordinada y diferenciada de los generadores, operadores de residuos y municipalidades. A diferencia de Brasil. En este país mencionado, se entiende como corresponsabilidad compartida por el ciclo de vida de los productos. Tello et al. (2018), indica que esta política enfocada en el ciclo de vida se implementa individualizada con la participación de fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores y titulares de los servicios públicos. Esto con el objetivo de compatibilizar interés económico, sociales y los procesos de gestión desarrollando en estrategias sustentables.
- Economía circular: En la última actualización de la ley de gestión de residuos se incluyó este término con la finalidad de generar creación de valor que no se limita al consumo definitivo de recursos, sino considerado en todo el ciclo de vida de los bienes. Para Tello et al. (2018), aún falta claridad en su aplicabilidad.
- Puesta en valor: En la ley 1278, parte del ámbito de aplicación se enmarca en que las actividades, procesos y operaciones de la gestión y manejo de residuos deben enfatizarse en la valorización de residuos. Esto se da porque los residuos sólidos generados constituyen un potencial recurso económico. Para ello es importante impulsar actividades de reciclaje, recuperación de componentes para evitar la disposición final.
- Segregación en la fuente y recolección selectiva: La norma obliga a los generadores a entregar a los generadores municipales y no municipales sus residuos sólidos debidamente segregados y que la recolección sea selectiva en todo el país. Sin embargo, aún falta el desarrollo de una política que incentive y eduque a la población a agregarlo a su estilo de vida. Solo existen casos en los que

se aplica correctamente. Entre ellos se puede visualizar la gestión de distritos como Surco, San Isidro y Miraflores.

- **Funciones y atribuciones:** El diario El Peruano en la resolución ministerial N° 106-2021 menciona: Sobre el Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, el Ministerio del Ambiente es competente para normar la GRS, contemplando los sistemas de tratamiento, las estrategias de aprovechamiento, restitución y maximización de su potencial material y energético; gestión de áreas degradadas por la acumulación de residuos sólidos de gestión municipal, entre otros aspectos. Indica que a las municipalidades distritales y provinciales les compete desarrollar estrategias de clasificación desde el punto de generación y recolección especializada de residuos en su ámbito de acción, promoviendo su valorización y asegurando su correcta disposición.

Además, el Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024 brinda los principios, lineamientos de política, el marco normativo y el plan de acción nacional en temas referentes al cuidado del medio ambiente.

La ley N° 30884, ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables establece un marco regulatorio sobre el plástico de un solo uso, plásticos reutilizables y recipientes de Tecnopor. Sin embargo, en su artículo 10 la ley obliga a las empresas a usar el PET como un material que debe contener todo envase para el consumo humano en al menos el 15%. Esto evidencia de que se permite el uso de este producto y probablemente se mantenga en el tiempo.

El “Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos” (SIGERSOL), es una herramienta importante para rastrear y registrar las cantidades de residuos generados por municipalidades, y empresas del sector privado mediante un registro digitalizado. Los resultados de este registro comparten datos relevantes.

Tanto el desarrollo tecnológico como el político serán trascendentales para lograr un cambio positivo en la gestión actual de los residuos en el distrito. Para ello, será necesario un análisis mixto e integrador en donde la participación activa de la sociedad de suma importancia.

#### **d) Caracterización de Cercado de Lima en Gestión de Residuos Sólidos**

Según el Estudio de Caracterización de RR. SS realizado por el municipio de Cercado de Lima. Los resultados indican que la Generación per cápita se distribuye de la siguiente forma:

- Caracterización domiciliaria

Según el nivel socioeconómico, el estrato A genera 0.77 kilos por persona al día y ellos representan 37% de la población, el estrato B genera 0.66 kilos y representan 52% de la población, y el estrato C genera 0.59 kilos por persona con una representatividad poblacional de 11%. Esto da una generación per cápita de 0.694 kg/hab/día. Además, se obtuvo el dato de generación de toneladas diarias de RR. SS, de 190.68. De la cantidad de residuos expuesta se tiene la siguiente composición de los residuos domiciliarios:

El 80.50 % de los residuos es aprovechable, 59.96 % son orgánicos y 20.54 % inorgánicos, destacando el plástico con 7.76 %, papel con 5.43 %, cartón con 3.85 %, vidrio 1.63 % y metales 1.88 %. El 19.50% del total es conformado con residuos no aprovechables.

**Tabla 2**

*Tipo de residuos generados en Cercado de Lima*

Residuos aprovechables	Residuos No aprovechables
80.50%	19.50%
59.96% orgánicos	2.58% bolsas de plástico de 1 solo uso
20.54% inorgánicos	13.10% residuos sanitarios
7.76% plástico	0.34% pilas
5.43% papel	0.42% Tecnopor
3.85% cartón	0.69% residuos inertes
1.63% vidrio	0.72% restos de medicamentos
1.88% metales	1.15% envolturas de snacks
	0.50% otros residuos

*Tabla 2 Tipo de residuos generados en Cercado de Lima*

- Caracterización no domiciliaria y especial:

La generación no domiciliaria en Cercado de Lima proviene de establecimientos comerciales, hoteles, mercados, restaurantes, instituciones públicas y privadas, instituciones educativas y el barrido de calles. Todo en su conjunto genera 441.97 tn/día. Por otro lado, la generación de residuos sólidos especiales proviene de lubricentos, laboratorios de ensayo, centros veterinarios, residuos de construcción y ferias, los cuales ocupan una generación de 60.94 tn/día.

La composición física de los residuos no domiciliarios se da de la siguiente forma:

El 79,62 % son aprovechables, expresados en 38,98 % orgánicos y 40,64 % inorgánicos, de los que 14,31 % son papel, 8,30 % cartón, 1,90 % vidrio, 13,38 % plástico, 1,83 % tetra brik, 0,92 % metales. Por otro lado, el 20.38% son residuos no aprovechables.

**Tabla 3**

*Tipos de residuos No domiciliarios generados en Cercado de Lima*

Residuos aprovechables	Residuos No aprovechables
79.62%	20.38%
38.98% orgánicos	2.58% bolsas de plástico de 1 solo uso
40.64% inorgánicos	13.10% residuos sanitarios
13.38% plástico	0.34% pilas
5.43% papel	0.42% Tecnopor
3.85% cartón	0.69% residuos inertes
1.63% vidrio	0.72% restos de medicamentos
1.88% metales	1.15% envolturas de snacks
	0.50% otros residuos

*Tabla 3 Tipo de residuos No domiciliarios generados en Cercado de Lima*

Como resultado general, en el estudio de caracterización de residuos del distrito se tuvo la siguiente información:

En total, se generan 693.59 toneladas al día de RR. SS, de las que la mayoría constan de residuos no domiciliarios, de los que su gestión debe ajustarse a políticas de reducción, segregación, reciclaje y valorización, para mitigar los impactos que genera en el distrito.

#### **e) Gestión de Residuos Valorizables**

La gestión de residuos reciclables en el Cercado de Lima se articula a través de diversos programas e iniciativas municipales orientados a promover una cultura de reciclaje y manejo responsable de residuos, entre estas iniciativas destaca "Recicla Lima", un programa municipal enfocado en promover la segregación y recolección selectiva de residuos en la fuente, complementado por el Programa Puntos Verdes, que establece puntos estratégicos de recolección en espacios públicos accesibles para la comunidad.

La educación ambiental constituye un pilar fundamental en estas iniciativas, materializándose a través de campañas de concientización y capacitación dirigidas a las

comunidades locales, estas actividades buscan no solo promover buenas prácticas de reciclaje sino también fomentar una participación ciudadana activa en la gestión integral de residuos sólidos.

Un aspecto crucial en este contexto es la presencia de recicladores informales, quienes desempeñan un papel fundamental en la recuperación de materiales valorizables como papel, cartón, plástico y metal, sin embargo, este sector enfrenta desafíos significativos relacionados con la precariedad laboral, limitada protección social y acceso restringido a servicios básicos, evidenciando la necesidad de implementar políticas y programas orientados a su formalización y reconocimiento como actores clave en la cadena de valor del reciclaje.

La integración de estos elementos - programas municipales, educación ambiental y formalización del reciclaje - busca establecer un sistema integral de gestión de residuos reciclables que promueva la “economía circular” y el desarrollo sostenible en el distrito, esto incluye la implementación de programas de capacitación, acceso a créditos y servicios de salud para recicladores, así como la integración sistemática de las operaciones informales de reciclaje en los sistemas formales de recolección selectiva.

#### **f) Valorización de Residuos Sólidos Plásticos**

La presente investigación considera orientar su importancia en el impulso del mercado del reciclaje, pues este brindará beneficios positivos a los actores del sistema: la empresa, la comunidad, el estado y el ambiente.

El enfoque principal de la planta de valorización toma como insumo al plástico, el cual dentro del porcentaje de residuos domiciliarios de Cercado de Lima abarca un 7.76%. Según el estudio de caracterización de Cercado de Lima, se presentan tipos de plástico en la generación domiciliaria, de los que el PET se tomará como insumo principal para producirlo de grado alimenticio. Los materiales que se recolectarán dentro del sistema colectivo a proponer serán: Plástico, cartón, papel, metales y vidrio seleccionado y acoplado.

Sin embargo, los productos finales, los cuales ya cuentan con un valor agregado son: BigBag de 1 tonelada de PET en grado alimenticio, BigBag de vidrio de 1 tonelada y papeles, cartones, y metales enfardados.

- Descripción del Tereftalato de Polietileno (PET)

El tereftalato de polietileno (PET) es un polímero termoplástico comúnmente utilizado para fabricar envases, botellas, películas, textiles y fibras.

Sus principales características son:

- **Transparencia y brillo:** PET es conocido por su transparencia y brillo, lo que lo hace ideal para envases de bebidas y alimentos donde la visibilidad del contenido es importante.
- **Resistencia mecánica:** Resistente a la tensión y compresión, proporcionando durabilidad y resistencia al impacto importante en aplicaciones de embalaje.
- **Ligereza:** El material liviano es económico de transportar y manipular, lo que reduce los costos de transporte y almacenamiento.
- **Reciclabilidad:** PET es altamente reciclable y puede reutilizarse para fabricar una variedad de productos, lo que lo convierte en una opción ambientalmente sustentable (Gandini, 2008).
- **Propiedades de barrera a los gases:** tiene excelentes propiedades de barrera a los gases y ayuda a mantener la frescura y la calidad de los productos envasados, como bebidas carbonatadas y alimentos envasados.
- **Resistencia a la humedad:** es resistente a la humedad, lo que lo hace adecuado para aplicaciones donde la protección contra la humedad es importante.
- **Procesabilidad:** PET se puede procesar fácilmente mediante técnicas de moldeo por soplado, inyección o extrusión, lo que facilita su fabricación en una variedad de formas y tamaños ((Yue et al., 2024).
- **Estabilidad química:** Resistente a la mayoría de los productos químicos y adecuado para una amplia gama de aplicaciones industriales y de embalaje.

El tereftalato de polietileno (PET) de grado alimenticio es un material ampliamente utilizado en la industria alimentaria debido a sus propiedades únicas y su seguridad en contacto con los alimentos, el PET combina propiedades deseables, como transparencia, resistencia mecánica, propiedades de barrera a los gases y resistencia a la humedad, lo que lo convierte en una opción ideal para envases y embalajes de alimentos.

Por ejemplo, las botellas de PET se utilizan ampliamente para envasar agua, refrescos, jugos y otros líquidos porque son livianas, duraderas y tienen excelentes propiedades de barrera contra contaminantes externos, en cuanto a sustitutos, el PET compite con otros materiales de embalaje como el vidrio y el cartón. Aunque el vidrio tiene buenas propiedades de barrera y calidad percibida, es más pesado y frágil que el PET, lo que puede aumentar los costos de envío y manipulación.



Por otro lado, el cartón es más ligero que el vidrio, pero tiene menores propiedades de resistencia y barrera que el PET, por lo que puede no ser adecuado para todo tipo de alimentos. Los bienes complementarios incluyen aditivos y equipos de procesamiento utilizados para fabricar y envasar alimentos en envases de PET. Por ejemplo, se pueden utilizar aditivos para mejorar la resistencia al calor y la protección UV del PET, así como equipos de llenado y sellado diseñados específicamente para envases de PET. Según las cifras, se estima que el mercado mundial de envases de alimentos en PET alcanzará aproximadamente los 10.200 millones de dólares en 2020, y se espera un crecimiento constante en los próximos años debido a la creciente demanda de envases.

En resumen, el PET de grado alimenticio desempeña un papel importante en la industria alimentaria porque ofrece una combinación única de propiedades y cumple con estrictas normas de seguridad. Debido a su versatilidad y papel en la protección y conservación de alimentos y bebidas para el consumo humano, su uso seguirá aumentando en el futuro.

La fabricación de bolsas grandes de PET de calidad alimentaria requiere una cuidadosa selección de materiales que cumplan con los estándares de seguridad requeridos para el uso en contacto con alimentos. Por ejemplo, la resina PET está diseñada específicamente para aplicaciones en contacto con alimentos y contiene dióxido de titanio para mejorar la estabilidad térmica y la resistencia a la abrasión. Estas resinas cumplen con estrictas normativas como la FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos) de EE. UU.

La EFSA (Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria) de la Unión Europea especifica los requisitos para los materiales que entran en contacto con los alimentos, estas normas establecen límites para la transferencia de productos químicos desde los envases a los alimentos, garantizando la seguridad del consumidor. Por ejemplo, la FDA especifica un límite de migración general de 0,5 mg/dm<sup>2</sup> para superficies de contenedores de PET para aplicaciones en contacto con alimentos. La EFSA también ha fijado valores límite específicos para diversas sustancias químicas de transición.

Como se ve en los presentes párrafos, hay distintos beneficios que el PET brinda a la sociedad, características adicionales como ser un material liviano, hace más eficiente su compactamiento y procesamiento, así como reducción en material para su embalaje y menor gasto en combustible para su transporte.

### 2.3.6. Análisis Costo Beneficio

El Análisis Costo Beneficio (ACB) constituye una herramienta analítica fundamental en la evaluación económica de proyectos y políticas públicas, proporcionando un marco sistemático para la toma de decisiones basada en evidencia. De acuerdo con Aguilera (2017), el ACB se fundamenta en principios de eficiencia económica que buscan maximizar el bienestar social a través de la comparación sistemática de los beneficios y costos asociados a diferentes alternativas de inversión.

Este modelo analítico se sustenta en la premisa fundamental de que una decisión es económicamente eficiente cuando la suma de los beneficios sociales supera la totalidad de los costos incurridos, Brent (2023) enfatiza que el ACB trasciende el análisis puramente financiero al incorporar consideraciones sociales y ambientales en la evaluación de proyectos, permitiendo una valoración más comprehensiva de los impactos generados.

La metodología del ACB requiere la expresión de costos y beneficios en términos monetarios, aplicando una tasa de descuento que refleje adecuadamente el valor temporal del dinero, según OECD (2018), esta monetización debe considerar tanto los aspectos tangibles como intangibles, incluyendo:

Costos:

- Directos: inversiones en infraestructura, gastos operativos y de mantenimiento
- Indirectos: costos de oportunidad y externalidades negativas
- Sociales: impactos sobre comunidades y grupos de interés

Beneficios:

- Económicos: ingresos directos y ahorros generados
- Ambientales: reducción de contaminación y preservación de recursos
- Sociales: mejoras en salud pública y bienestar comunitario

Una de las principales fortalezas del ACB, según Vargas et al. (2020), radica en su capacidad para proporcionar una base objetiva y cuantitativa para la toma de decisiones. Sin embargo, Hanley (1992) identifican desafíos significativos en su aplicación, principalmente relacionados con:

- La valoración adecuada de beneficios intangibles
- Las incertidumbres en estimaciones de largo plazo
- La determinación de tasas de descuento apropiadas

- La distribución equitativa de costos y beneficios entre diferentes grupos sociales

#### **a) Metodología del Análisis Costo Beneficio**

La metodología del ACB se estructura a través de un proceso sistemático que permite evaluar y comparar diferentes alternativas de inversión. Azqueta (2007) establece que el punto de partida fundamental es la necesidad de resolver una problemática específica mediante el ordenamiento sistemático de información relevante que facilite la toma de decisiones.

De acuerdo con Boardman et al. (2018), la metodología del ACB se desarrolla a través de cinco etapas secuenciales que permiten una evaluación comprehensiva de los proyectos o políticas analizadas. La primera etapa corresponde a la identificación de alternativas, donde se delimita claramente el problema y se identifican exhaustivamente las opciones disponibles para su resolución. El Banco Mundial (2021) enfatiza que esta fase inicial debe incluir una definición precisa del alcance temporal y espacial del análisis, así como la identificación de los grupos de interés afectados y las restricciones técnicas y presupuestarias relevantes.

La segunda etapa comprende la estimación de costos y beneficios, requiriendo un análisis detallado de todos los efectos relevantes del proyecto. Pearce et al. (2019) establecen que esta fase debe contemplar tanto los costos directos de implementación y operación como los beneficios primarios y secundarios, incluyendo las externalidades positivas y negativas generadas por el proyecto.

La tercera etapa aborda la valoración monetaria, constituyendo uno de los aspectos más desafiantes del ACB, según Dixon et al. (2021), esta fase requiere la aplicación rigurosa de técnicas de valoración económica y la consideración de precios sombra cuando sea necesario, asegurando el ajuste por distorsiones de mercado y la incorporación de factores de corrección social.

La agregación temporal representa la cuarta etapa del proceso, Turner et al. (2021) enfatiza la importancia de realizar una proyección adecuada de los flujos futuros, seleccionando tasas de descuento apropiadas y considerando tanto la vida útil del proyecto como los impactos intergeneracionales asociados.

La quinta etapa corresponde al análisis de sensibilidad, Hanley (1992) subrayan la necesidad de evaluar la robustez de los resultados mediante la identificación de variables críticas y el análisis de escenarios alternativos, permitiendo una evaluación comprehensiva de riesgos e incertidumbres.

El análisis de impactos requiere una evaluación sistemática de efectos directos e indirectos, considerando los impactos acumulativos y la distribución de efectos entre diferentes grupos sociales, finalmente, la evaluación de resultados debe incluir el cálculo de indicadores de rentabilidad y un análisis comprehensivo de sensibilidad y riesgo, permitiendo la formulación de recomendaciones fundamentadas.

### **b) Indicadores de Rentabilidad**

La evaluación económica en un Análisis Costo Beneficio requiere la aplicación de indicadores específicos que proporcionan un marco cuantitativo para la toma de decisiones, según Azqueta et al. (2007), estos indicadores trascienden el análisis financiero tradicional al incorporar dimensiones sociales y ambientales, permitiendo una evaluación integral de las inversiones propuestas.

El Valor Actual Neto (VAN) representa el indicador central de la evaluación económica, sintetizando en un solo valor los flujos de beneficios y costos a lo largo del horizonte del proyecto. Su formulación matemática se expresa como:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + r)^t}$$

Donde:

- $VAN$ : Valor Actual Neto
- $B_t$ : Beneficios económicos en el periodo  $t$
- $C_t$ : Costos económicos en el periodo  $t$
- $r$ : Tasa de descuento utilizada para actualizar los valores futuros.
- $t$ : Período de evaluación.

De acuerdo con Azqueta et al. (2007), la interpretación del VAN requiere considerar diversos factores críticos, en primer lugar, la tasa social de descuento ( $r$ ) debe reflejar adecuadamente el costo de oportunidad social del capital y las preferencias intertemporales de la sociedad.

Los beneficios económicos ( $B_t$ ) deben incluir tanto los ingresos directos como las externalidades positivas generadas por el proyecto, la OECD (2018) enfatizan la importancia de incorporar beneficios sociales y ambientales, tales como:

- Mejoras en la salud pública
- Reducción de la contaminación

- Generación de empleo
- Desarrollo de capacidades locales
- Preservación de recursos naturales

Los costos económicos ( $C_t$ ) abarcan no solo los desembolsos directos sino también los costos de oportunidad y las externalidades negativas. Según Azqueta et al. (2007), estos pueden incluir:

- Inversiones en infraestructura
- Gastos operativos y de mantenimiento
- Impactos ambientales negativos
- Desplazamiento de actividades económicas existentes
- Costos de mitigación y compensación

Por otro lado, la Tasa Interna de Retorno (TIR) complementa el análisis del VAN al proporcionar una medida de la rentabilidad relativa del proyecto. Se expresa matemáticamente como:

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + TIR)^t}$$

La interpretación de la TIR debe considerar el contexto específico del proyecto y el sector. Azqueta et al. (2007) sugieren que, en proyectos ambientales y sociales, la TIR debe superar la tasa social de descuento por un margen que refleje los riesgos específicos del proyecto y la incertidumbre en la valoración de beneficios intangibles.

Asimismo, La Relación Beneficio-Costo (B/C) ofrece una perspectiva complementaria al examinar la eficiencia relativa de la inversión:

$$B/C = \frac{\frac{B_t}{(1 + TIR)^t}}{\frac{C_t}{(1 + TIR)^t}}$$

- Si  $B/C > 1$ : El proyecto es económicamente viable porque los beneficios superan los costos.
- Si  $B/C = 1$ : El proyecto está en equilibrio (beneficios iguales a los costos).
- Si  $B/C < 1$ : El proyecto no es económicamente viable porque los costos superan los beneficios.

Este indicador resulta particularmente útil para comparar alternativas de inversión con diferentes escalas de implementación. Se recomienda su utilización en

conjunto con el VAN y la TIR para obtener una evaluación más robusta de la viabilidad económica del proyecto.

### c) Análisis Costo-Beneficio Social

El Análisis Costo-Beneficio Social (ACBS) representa una extensión del análisis tradicional que incorpora explícitamente la dimensión social en la evaluación de proyectos, según Azqueta et al. (2007), el objetivo primordial de este enfoque es migrar desde una perspectiva puramente monetaria hacia una evaluación que considere el impacto real sobre el bienestar de la sociedad.

La valoración de costos y beneficios en el ACBS requiere la consideración de precios sociales, que reflejan el verdadero costo de oportunidad para la sociedad, Azqueta et al. (2007) señalan que los beneficios sociales incluyen impactos positivos que tradicionalmente no se reflejan en los análisis financieros, como mejoras en la calidad de vida, desarrollo de capital humano y fortalecimiento del tejido social.

La evaluación de estos componentes se realiza mediante el Valor Actual Neto Social:

$$VAN_{social} = \sum_{t=0}^n \frac{BS_t - CS_t}{(1 + r_s)^2}$$

Donde:

- $BS_t$ : Beneficios sociales en el periodo t
- $CS_t$ : Costos sociales en el periodo t
- $r_s$  = Tasa social de descuento

La aplicación práctica del ACBS requiere un enfoque multidisciplinario que integre aspectos económicos, sociales y ambientales, Azqueta et al. (2007) sugieren que esta evaluación debe considerar las dimensiones temporal, espacial, social y ambiental de manera integrada, permitiendo una valoración comprehensiva de los impactos del proyecto sobre el bienestar social.

### d) Relación entre el Análisis Costo-Beneficio y la Evaluación de una Planta de Valorización de PET

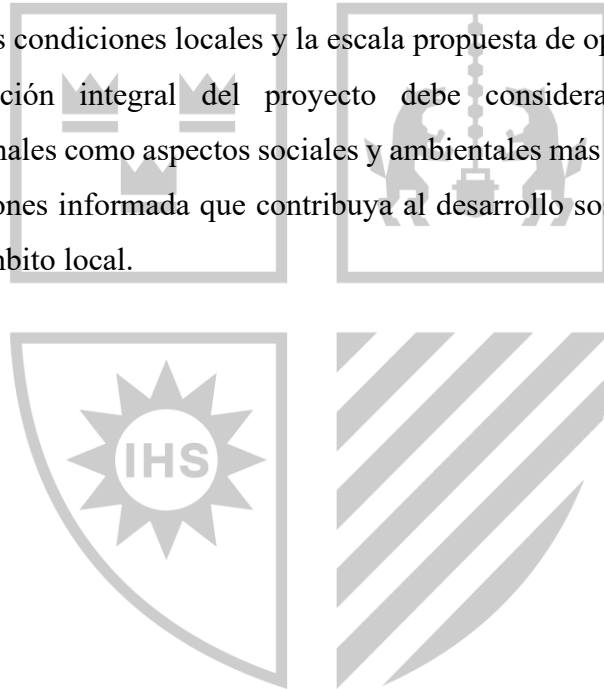
La implementación de una planta de valorización de PET para producir material grado alimenticio requiere una evaluación económica rigurosa mediante el análisis costo-beneficio, de acuerdo con Azqueta et al. (2007), este análisis resulta particularmente

relevante en proyectos de gestión ambiental donde los beneficios trascienden la dimensión puramente financiera.

En el contexto específico de una planta de valorización de PET, la identificación de alternativas implica el análisis comparativo entre diferentes opciones de gestión, Torkashvand et al. (2021) señalan que este análisis debe considerar tanto la disposición convencional en vertederos como las diferentes tecnologías disponibles para el reciclaje y valorización del material.

La estimación y valoración de costos contempla múltiples dimensiones. O'Mahony (2021) identifican como elementos principales la inversión en equipamiento especializado, costos operativos asociados al proceso de valorización, gastos de personal calificado y costos de mantenimiento de la infraestructura, estos costos deben evaluarse en el contexto de las condiciones locales y la escala propuesta de operación.

La evaluación integral del proyecto debe considerar tanto indicadores financieros tradicionales como aspectos sociales y ambientales más amplios, permitiendo una toma de decisiones informada que contribuya al desarrollo sostenible de la gestión de residuos en el ámbito local.



## CAPITULO III: METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta la metodología utilizada para llevar a cabo la investigación, detallando el enfoque, diseño y las técnicas empleadas para alcanzar los objetivos propuestos, se describe el tipo de investigación, que en este caso es de carácter descriptivo y evaluativo, con un enfoque cuantitativo, dado que se analizarán los costos y beneficios asociados a la implementación de un modelo de “economía circular” enfocado en la gestión del PET, además, se especifica la población y muestra, los instrumentos de recolección de datos y los métodos de análisis, tanto económicos como ambientales, que permitirán evaluar de manera objetiva la viabilidad y el impacto del modelo de “economía circular en la gestión de residuos plásticos” en el distrito Cercado de Lima.

Este capítulo muestra las bases para garantizar la rigurosidad y validez de los resultados obtenidos.

### **2.1. Tipo y diseño de la investigación**

La presente investigación es de tipo aplicada y de enfoque cuantitativo. Según Hernández-Sampieri et al. (2014) la investigación aplicada se orienta a resolver problemas específicos mediante el conocimiento científico, mientras que el enfoque cuantitativo permite medir variables y realizar análisis objetivos de la realidad. Este tipo de investigación busca evaluar los costos y beneficios económicos asociados a la implementación de un modelo de “economía circular” enfocado exclusivamente en la gestión del PET en el distrito Cercado de Lima, permitiendo comparar de manera numérica y objetiva los resultados entre el modelo actual y el modelo propuesto.

El diseño de la investigación es no experimental, descriptivo, comparativo y de alcance transversal. El diseño no experimental se caracteriza por observar y analizar los fenómenos en su contexto natural sin manipular las variables. En este caso, los datos se recolectarán tal como se presentan en la realidad actual y se analizarán para comparar escenarios de gestión de residuos plásticos (PET).



El diseño descriptivo permitirá identificar y caracterizar con detalle las particularidades y condiciones específicas de los escenarios bajo estudio, facilitando una comprensión integral de la gestión de residuos plásticos en el distrito Cercado de Lima, el “diseño comparativo se centra en la evaluación sistemática y cuantitativa de dos escenarios claramente diferenciados”: el primero corresponde al “modelo lineal” vigente, caracterizado por la recolección, transporte y disposición final de residuos plásticos en rellenos sanitarios sin procesos significativos de valorización o reciclaje; este escenario implica costos operativos y ambientales asociados a la gestión tradicional, así como limitaciones en la recuperación de materiales. El segundo escenario corresponde a la implementación del “modelo de economía circular”, que incluye estrategias integrales de reducción, reutilización, reciclaje y valorización del tereftalato de polietileno (PET), con inversiones en infraestructura especializada, capacitación de actores involucrados y generación de beneficios económicos directos por la comercialización de materiales reciclados, además de impactos positivos en la reducción de emisiones contaminantes y mejoras sociales derivadas de la formalización y mejoramiento de condiciones laborales en el sector reciclador.

De esta manera, el diseño metodológico facilita la evaluación de los impactos derivados de implementar el modelo de “economía circular” enfocado en la gestión del PET en el distrito Cercado de Lima.

## **2.2. Población y muestra del estudio**

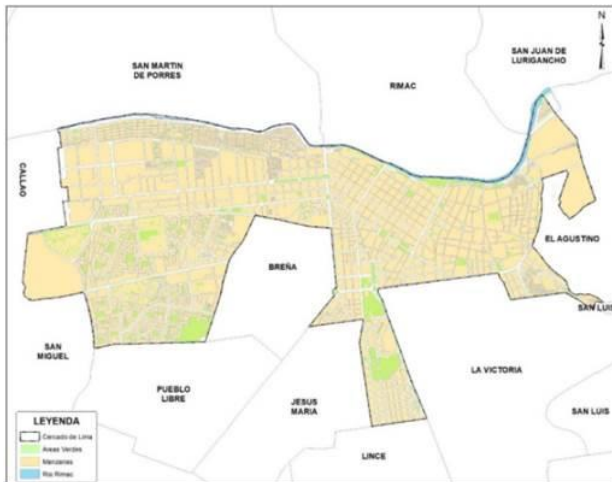
### **2.2.1. Población**

Según el Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres de Cercado de Lima (2021-2024), este distrito cuenta con un área urbana de 21.78 km<sup>2</sup>, con una densidad poblacional de 12,318.77 habitantes por kilómetro cuadrado. La población está conformada por diversas unidades territoriales y actores relevantes, que incluyen 30 urbanizaciones, 18 asentamientos humanos, 6 conjuntos habitacionales, una zona industrial, diversos centros comerciales y las sedes de los tres poderes del Estado (2014).

La población de estudio está constituida por los actores directamente relacionados con la generación y “gestión de residuos sólidos” en el Cercado de Lima. Estos actores son las autoridades locales, las entidades encargadas del manejo de residuos, las empresas involucradas en actividades de recolección y disposición final, así como los sectores productivos y comerciales que generan mayores volúmenes de residuos.

## Figura 6

### Limitación territorial de Cercado de Lima



Nota. Elaborado por equipo técnico de la SERPP

Ilustración 6 Limitación territorial de Cercado de Lima

### 2.2.2. Muestra

Dado que no se aplicó encuestas directas ni entrevistas, la investigación utilizó información secundaria y fuentes documentales para caracterizar a la población y analizar los escenarios propuestos. Las unidades de análisis serán:

1. Datos estadísticos proporcionados por la Municipalidad Metropolitana de Lima y el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).
2. Información de reportes y estudios técnicos de entidades públicas y privadas relacionadas con la gestión de residuos.
3. Datos sobre generación y manejo de residuos en zonas urbanas, comerciales e industriales.

La muestra se enfocó en aquellas unidades territoriales y actores clave que permitan realizar el análisis comparativo entre el modelo lineal actual y el modelo propuesto de “economía circular” en la “gestión de residuos sólidos” en el distrito Cercado de Lima.

### 2.3. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

La investigación utilizó técnicas basadas exclusivamente en la recolección de información secundaria y análisis documental, estas técnicas incluyen la recopilación y

revisión de datos estadísticos, reportes y estudios publicados por entidades oficiales como el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), la Municipalidad Metropolitana de Lima y el Ministerio del Ambiente (MINAM). Se priorizaron datos relacionados con la generación, gestión y valorización del PET, así como información económica sobre costos y beneficios asociados a su reciclaje y reutilización, asimismo, se analizaron informes técnicos y estudios académicos enfocados en “economía circular”, especialmente en la gestión de residuos plásticos (PET), provenientes de organismos nacionales e internacionales.

Los instrumentos de recolección consistieron en bases de datos oficiales, informes técnicos, estudios de mercado y documentos especializados que permiten realizar un análisis integral y fundamentado sobre la gestión del PET y su valorización en el distrito Cercado de Lima.

## 2.4. Variables

Las variables de la investigación basadas en el modelo de Costo Beneficio son las siguientes:

**Tabla 4**

*Variables de la investigación*

Categoría	Variable	Descripción
Costos de inversión	Construcción de planta de valorización de residuos	Gastos relacionados con la construcción de infraestructura para la valorización de residuos.
	Infraestructura para la recolección y segregación de residuos	Inversión en contenedores, centros de acopio y equipos de segregación.
	Inversión en capacitaciones	Recursos destinados a la formación y capacitación de los actores involucrados en el proceso.
Costos de operación	Costos de insumos y materias primas	Gastos por materiales necesarios para el proceso de reciclaje y valorización.
Producción	Mano de obra en reciclaje y logística	Costos de personal para reciclaje, compactación, tratamiento y transporte de residuos valorizados.
Ingresos	Venta de residuos valorizados (big bags de PET)	Ingresos por la comercialización de residuos procesados como PET de grado alimenticio.

Reducción de costos operativos en recolección y disposición final	Ingresos indirectos generados por la reducción de costos en operaciones de residuos no segregados.
---	--

**Tabla 4** Variables de la investigación

Es importante tomar en cuenta que la estimación de precios del material que se valorizará proviene de un estudio de mercado. Se conocerá el precio de mercado de diversas empresas de reciclaje y el precio ofertado por grandes empresas embotelladoras, constructoras, manufactureras, entre otros.

El ingreso considerado por la reducción en el pago a la empresa tercerizada por los servicios de limpieza y recolección de residuos es considerado un costo evitado. Para ello es necesaria la información tomada de la entrevista a la empresa encargada de la gestión de residuos del distrito.

#### 2.4.1. Método de análisis de datos

El método de análisis de datos seguirá un enfoque cuantitativo basado en el análisis costo-beneficio (ACB), el cual permite determinar la viabilidad económica de la implementación del modelo de “economía circular”. Este método permite comparar los costos y beneficios asociados a los dos escenarios evaluados: el modelo actual de gestión de residuos y el modelo de “economía circular”.

En primer lugar, se recopiló los costos de inversión y operación asociados al modelo de economía circular. Estos costos incluyen la construcción de infraestructura (planta de valorización de residuos, centros de acopio y segregación), capacitaciones, insumos y mano de obra para actividades de reciclaje, compactación y logística.

En segundo lugar, se identificó los beneficios económicos esperados, que comprenden los ingresos generados por la venta de residuos valorizados (como PET de grado alimenticio) y los costos evitados derivados de la reducción de residuos destinados a la disposición final, lo cual disminuye los pagos a empresas tercerizadas.

La evaluación económica se realizó mediante el Valor Actual Neto (VAN), cuya fórmula es:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + r)^t}$$

Donde:

- VAN: Valor Actual Neto

- $B_t$ : Beneficios económicos en el periodo t
- $C_t$ : Costos económicos en el periodo t
- $r$ : Tasa de descuento utilizada para actualizar los valores futuros.
- t: Período de evaluación.

Para la evaluación económica del proyecto se utilizó una tasa de descuento del 10%, la cual corresponde a la tasa social de descuento recomendada por organismos oficiales y ampliamente utilizada en estudios de viabilidad para proyectos públicos y ambientales en Perú, esta tasa refleja el costo de oportunidad social del capital, es decir, el valor temporal del dinero desde la perspectiva de la sociedad y la capacidad de inversión en alternativas con riesgo comparable, la elección del 10% se fundamenta en estudios previos y recomendaciones de entidades como el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), que sugieren tasas entre 8% y 12% para proyectos de inversión pública con horizonte de evaluación a largo plazo. Además, se realizó un análisis de sensibilidad variando la tasa entre 8% y 12% para evaluar cómo afecta los indicadores financieros, evidenciando que el proyecto mantiene su viabilidad económica bajo estas fluctuaciones.

El uso de esta tasa permite actualizar los flujos futuros de costos y beneficios a valor presente, facilitando una comparación objetiva de las alternativas evaluadas, de esta manera, la tasa de descuento del 10% garantiza que el análisis costo-beneficio refleje adecuadamente el valor temporal del dinero y los riesgos inherentes a la implementación del modelo de economía circular en la gestión del PET en el distrito Cercado de Lima. El criterio de decisión será:

- Si  $VAN > 0$ : La implementación del modelo de economía circular es viable.
- Si  $VAN < 0$ : No es viable económicamente.

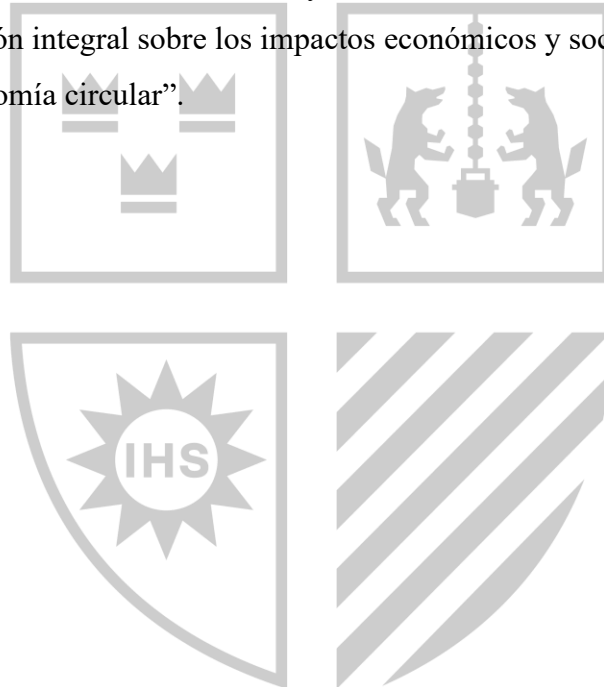
Adicionalmente, se calculó la relación beneficio-costo (B/C), que se define como:

$$B/C = \frac{\text{Beneficios totales}}{\text{Costos totales}}$$

Si la relación  $B/C > 1$ , se considera que el proyecto es rentable.

Finalmente, se realizó un análisis de sensibilidad para evaluar el impacto de posibles variaciones en las variables clave del proyecto, tales como los costos de inversión y operación, los beneficios esperados y la tasa de descuento aplicada, este análisis permitió identificar las variables que ejercen mayor influencia sobre la rentabilidad y viabilidad económica del modelo, mediante la simulación de escenarios optimistas, pesimistas y base, además, se consideraron riesgos asociados a fluctuaciones del mercado, cambios regulatorios y aspectos técnicos, para ofrecer una evaluación integral de la solidez y sostenibilidad del proyecto frente a incertidumbres y condiciones cambiantes.

Los resultados obtenidos se presentan en tablas y gráficos que faciliten la comparación visual de los escenarios evaluados. Además, se integrará información cualitativa obtenida a través de entrevistas y estudios documentales, con el objetivo de realizar una discusión integral sobre los impactos económicos y sociales de implementar el modelo de “economía circular”.



## CAPITULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1. Resultados de modelo ACB

#### Paso 1: Diagnóstico del actual manejo de residuos sólidos en el lugar de estudio.

Para realizar el diseño de la planta de valorización de residuos plásticos se necesita determinar la cantidad de residuos valorizables que se generan en las viviendas. Luego de ello, se debe enfocar en la generación de residuos plásticos, los cuales son el insumo principal para la producción de PET de grado alimenticio.

En primer lugar, es importante conocer cómo a lo largo de los años ha ido variando la generación anual de residuos en el distrito de Cercado de Lima.

Datos del Instituto Nacional de Estadística del Perú indican en el siguiente cuadro la generación de RR. SS de Cercado de Lima desde el año 2015 al 2021.

**Tabla 5**

*Cantidad de generación de toneladas de RR. SS en Cercado de Lima desde 2015 al 2022*

Descripción	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Generación de RR.SS en Cercado de Lima	244 148	238 335	243 449	235 316	230 673	234 524	207 516	249692.4

*Nota.* Elaboración propia: Adaptado de INEI

**Tabla 5** Cantidad de generación de toneladas de RR.SS en Cercado de Lima desde 2015 al 2022

Para el cálculo de crecimiento de generación de residuos se evaluó los datos del año 2015 al 2022, descartando el año 2021 pues fue una etapa de pandemia por el Covid 19 y los indicadores de generación de RR. SS son atípicos.

Tras el análisis de variación en el tiempo se tuvo como resultado que el crecimiento anual promedio es de 2.5% en la generación de residuos en Cercado de Lima.

Con esta información se pudo extrapolar la generación de residuos para los próximos 10 años.

**Tabla 6**

*Estimación de cantidad de toneladas de Residuos anuales del 2023 al 2033 en Cercado de Lima*

2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
2559	2623	2688	2756	2825	2895	2968	3042	3118	3196	3276
35	33	91	14	04	67	06	26	32	27	18

*Nota.* Elaboración propia (2024)

**Tabla 6** *Estimación de cantidad de toneladas de Residuos anuales del 2023 al 2033 en Cercado de Lima*

Luego, se obtuvo información del estudio de caracterización de residuos sólidos de cercado de Lima publicado en el año 2019.

Según el estudio de caracterización realizado en el distrito de Cercado de Lima, se cuentan con los siguientes datos referentes a la generación de residuos no orgánicos aprovechables de fuente domiciliaria.

**Tabla 7**

*Generación de residuos Domiciliarios diarios en toneladas*

Generación de residuos Domiciliarios		190.68
1. Residuos orgánicos aprovechables	80.52%	Ton/día
1.1. Residuos orgánicos	59.96%	114.33
1.2. Residuos inorgánicos	20.56%	39.20
1.2.1. Papel	5.44%	10.37
Blanco	1.98%	3.78
Periódico	1.47%	2.80
Mixto (páginas de cuadernos, revistas, otros)	1.99%	3.79
1.2.2. Cartón	3.85%	7.34
Blanco (liso y cartulina)	1.47%	2.80
Marrón (Corrugado)	0.86%	1.64
Mixto (tapas de cuaderno, revistas)	1.52%	2.90
1.2.3. Vidrio	1.63%	3.11
Transparente	0.52%	0.99
Otros colores	1.11%	2.12
1.2.4. Plástico	7.76%	14.80
PET - Tereftalato de polietileno: botellas de aceite y bebidas.	2.48%	4.73



PEAD - Polietileno de alta densidad: botellas de lácteos, shampoo, detergente, suavizante.	1.71%	3.26
PEBD - Polietileno de baja densidad - empaques de productos como film, detergentes, papel higiénico	2.14%	4.08
PP - Polipropileno: baldes, tinas, rafia, estuches de CD, tapas de bebidas, tapers.	1.03%	1.96
PS - Poliestireno: tapas cristalinas de CDs, micas, vasos de yogurt	0.40%	0.76
1.2.5. Metales	1.88%	3.58
Latas hojalata	1.83%	3.49
Aluminio	0.05%	0.10
2. Residuos no aprovechables	19.50%	37.18

*Nota.* Elaboración propia (2024) - Basado en Estudio de Caracterización residuos de Cercado de Lima.

**Tabla 7** Generación de residuos Domiciliarios diarios en toneladas

Del presente cuadro se puede tomar como referencia que el 7.76% de residuos generados en Cercado de Lima, provenientes de fuente domiciliaria, son plásticos.

En el siguiente cuadro se puede observar la distribución de generación de residuos provenientes de fuente no domiciliaria en Cercado de Lima.

Con esta información se obtiene la cantidad diaria, semanal y anual que la planta de valorización debe tener para capacidad de carga.

En la Tabla 6 se puede observar la generación diaria, mensual y anual de residuos plásticos en Cercado de Lima. Esto brinda la referencia para poder obtener la capacidad de producción de la planta de valorización.

**Tabla 8**

*Cantidad de toneladas de residuos plásticos generados en Cercado de Lima*

FUENTE	TON/DIA	TON/MES	TON/ANO
Total de residuos plásticos Generados	14.8	444	5327

*Nota.* Elaboración propia (2024) - Basado en Estudio de Caracterización residuos de Cercado de Lima.

**Tabla 8** Cantidad de toneladas de residuos plásticos generados en Cercado de Lima

La productividad esperada de la planta de valorización de residuos en Cercado de Lima plantea un porcentaje de recuperación y valorización que se puede lograr con un objetivo mínimo de 60% del total de residuos plástico PET provenientes de la generación domiciliar de residuos.

**Tabla 9**

*Estimación de cantidad de Residuos Plásticos valorizados, cubrimiento al 60% del total generado en el distrito*

AÑO	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
GENERACIÓN DE PLÁSTICO (TN)	5597	5736	5880	6027	6177	6332	6490	6652	6819	6989
PET-Tereftalato de polietileno	1789	1833	1879	1926	1974	2024	2074	2126	2179	2234
OBJETIVO DE VALORIZACIÓN(TN)	1073	1100	1127	1156	1185	1214	1245	1276	1308	1340
MENSUAL (TN)	89	92	94	96	99	101	104	106	109	112
DIARIA (TN)	3.0	3.1	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.5	3.6	3.7

*Nota.* Elaboración propia (2024) - Basado en Estudio de Caracterización residuos de Cercado de Lima.

**Tabla 9** *Estimación de cantidad de Residuos Plásticos valorizados, cubrimiento al 60% del total generado en el distrito*

La información expuesta en la tabla 7 nos brinda la referencia para poder extrapolar la información del proyecto a implementar, con una proyección a 10 años y una tasa de crecimiento anual de la generación de residuos de 2.5%.

Para lograr cubrir la capacidad esperada se requiere tener una planta de valorización que pueda captar al menos 10 toneladas diarias.

## **4.2. Caracterización del modelo de economía circular aplicado en Cercado de Lima**

### **4.2.1. Modelamiento de Planta de Reciclaje y Valorización de residuos no orgánicos.**

La planta de Reciclaje y Valorización de residuos plásticos se encontrará en el distrito de Cercado de Lima.

Contará con las siguientes características:

- a. Localización de la planta: La planta de valorización de plástico estará ubicada en el distrito de Cercado de Lima, lo cual facilitará el abastecimiento de insumos provenientes del distrito. Hoy en día, el costo promedio del metro cuadrado en el distrito de Cercado de Lima asciende a S/. 4,921.00. Esta información será

contabilizada en el análisis de costos y beneficios. Se considerará un área de 1000 metros cuadrados.

- b. Producto: Las resinas de PET de grado alimenticio serán la materia primera para productos textiles y de envasado. Se exportarán sacos bigbag de 1 tonelada.

### Figura 7

*Pellet de grado alimenticio*



*Nota.* Obtenida de Custom Plastic Molds (2024). <http://www.custom-plastic-molds.com/plastic-raw-material/pa/pa66-food-grade-pellets.html>.

*Ilustración 7 Pellet de grado alimenticio*

El producto final constará de un saco Big Bag de 1 tonelada, cosido con pabilo.

### Figura 8

*Big bag para almacenamiento de Pellet de grado alimenticio*



Nota: Imagen obtenida de Custom Plastic Molds (2024). <http://www.custom-plastic-molds.com/plastic-raw-material/pa/pa66-food-grade-pellets.html>.

*Ilustración 8 Big bag para almacenamiento de Pellet de grado alimenticio*

- c. Proceso de elaboración del producto: Para cumplir con las especificaciones FDA será necesaria la aplicación de una tecnología físico-química. El proceso constará de la siguiente forma:
- Recepción de los residuos urbanos segregados en la fuente: Tras el recojo del material de fuente domiciliaria, se realizará el pesaje en una balanza plataforma.
  - Evaluación de materiales de entrada y selección manual de material recuperable: A lo largo de una faja transportadora, personal se encargará de hacer una inspección y evaluación del material. Los operadores se encargarán de separar el material recuperable como (papel, cartón, vidrios, plásticos y metales no ferrosos) y lo depositarán en fajas transportadoras que se encontrarán anexas a la faja principal. Este proceso será importante para poder enfardar los materiales que no servirán de insumo base para la producción de PET de grado alimenticio. Uno de los materiales que deberá ser retirado primero será el vidrio debido al peligro que puede generar a los demás operarios. El vidrio se embolsará en sacos de 50kg y el plástico en pacas compactas. Finalmente, material no valorizable será almacenado en puntos de acopio para luego ser enviado a un relleno sanitario o de seguridad.
  - Proceso de producción de resina PET de grado alimenticio: Las pacas con plástico serán ingresadas a la zona de alimentación en donde se introduce el material a pozos abiertos conectados a la faja transportadora.
  - Prelavado: Las botellas deben ser lavadas y acondicionadas para el ingreso a la molienda.
  - Previamente a la molienda será importante una detección de otros plásticos mediante infrarrojo. Aquí se descartan materiales como PC, PE, y PS.
  - El PET seleccionado pasa por un detector de metales y tras pasar el filtro ingresa a la zona de molienda.
  - Molienda: Aquí se generan hojuelas de plástico.

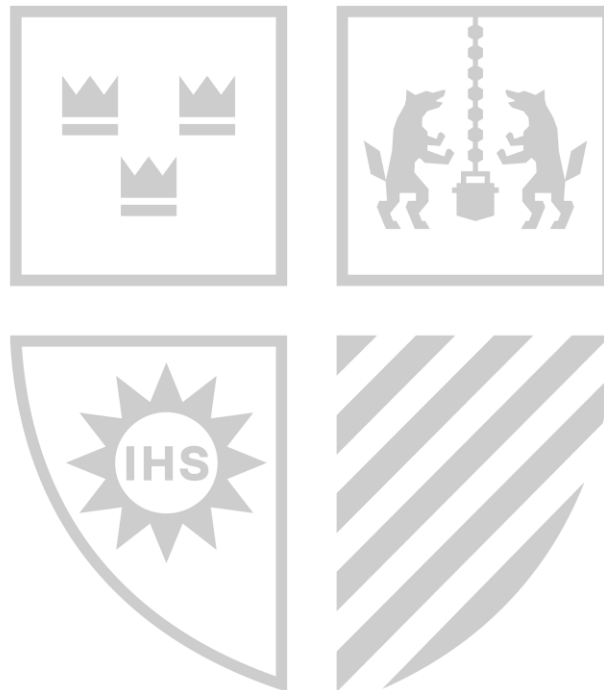
- Segundo lavado: Las hojuelas ingresan a un tanque de flotación. En este proceso se hace un lavado con detergentes y productos químicos para retirar pegamentos y contaminantes.
- Secado: Por medio de un proceso de agitación y corrientes de aire se elimina el agua de las hojuelas.
- Homogenización: Se realiza una etapa de muestreo de hojuelas para verificar la calidad.
- Extrusión:
- Tecnología de poli condensación SPP
- Ensacado

d. Características de equipos de la planta:

- Camión recolector de basura: Tiene la función de recolección de residuos de fuente domiciliaria. Consiste en un camión mecánico de 25tn de capacidad. Su costo asciende a S/195.000 soles. Forma parte del proceso inicial del sistema, la recolección.
- Camión recolector de material segregado: Consiste en un camión furgón de 15tn de capacidad, el cual recolectará residuos segregados en la fuente por parte de las familias de Cercado de Lima. Su costo asciende a S/195,000 soles. Forma parte del proceso inicial del sistema, la recolección.
- Balanza de pesaje portátil para unidades de transporte: Forma parte de la etapa de recepción de residuos valorizables en la planta. Son fácilmente transportables e instalables. Su costo asciende a S/. 6,000 soles.
- Balanza industrial: Forma parte del proceso de evaluación de materiales de entrada y de la selección manual de materiales recuperables. Son utilizadas dentro de la planta. Su costo asciende a S/3,750 soles.
- Faja transportadora: Forma parte del proceso de evaluación de materiales de entrada y la selección manual de materiales recuperables. Su función es transportar los materiales en una faja para el personal realice actividades selectivas y clasifique los tipos de residuos valorizables que llegan a la planta. La idea es tener una clasificación especial para el PET en la faja transportadora principal, pues es el insumo base para la producción de pellets de grado alimenticio. Tiene una capacidad de carga de 35t/hr. Su costo asciende a S/9,900 soles.





- Prensa enfardadora hidráulica: Tiene la función de enfardar material valorizable que no formará parte del proceso de elaboración de pellet de grado alimenticio. Tiene una capacidad de 250 fardos de 25 kilos por hora. Su costo asciende a S/17,550 soles.
- Faja transportadora elevada: Forma parte del proceso de alimentación y elaboración de resinas. Tiene la función de transportar los plásticos segregados. Su capacidad es de 4000kg/hr y tiene un costo de S/8,250 soles.
- Cámara de prelavado: Forma parte del proceso de alimentación elaboración de resinas. Este tanque tiene la función de separar piedras y metales pesados del PET segregado, las cuales pueden dañar a las siguientes máquinas. Tiene una capacidad productiva de 5.500kg/hr. Su costo asciende a S/18,000 soles.
- Máquina segregadora automática: Cuenta con una tecnología infrarroja para “escanear” materiales como plástico PET, PP, PVC y otros. Utilizan tecnología avanzada, como separación electrostática de alto voltaje y aprendizaje automático para identificar y separar plásticos con precisión. Tiene una capacidad productiva de 8000kg/hr. Su costo asciende a S/20,000 soles.
- Cámara molienda: Las cámaras de molienda son dispositivos diseñados para reducir el tamaño de diversos materiales en aplicaciones industriales y de laboratorio. Se utilizan en procesos de trituración y micronización. Tiene una capacidad de 2000kg/hr. Su costo asciende a S/50,000 soles.
- Lavadora a fricción: Es una máquina que tiene la función del lavado del plástico triturado, además, tiene la funcionalidad de remover residuos como plásticos, tapas y pegamento. Tiene una capacidad de 4000kg/hr. Su costo asciende a S/32,340 soles.
- Centrifuga: Es importante para finalizar el proceso de lavado de las botellas para remover el agua y los residuos. Tiene una capacidad de 3000kg/hr. Su costo asciende a S/34,230 soles.
- Silos almacenamiento: Dentro de esta área se logra la homogenización de las hojuelas. Se realizan actividades de toma de muestra para evaluar la calidad y dimensiones de las hojuelas. Tiene una capacidad de 10tn. Su costo es de S/14,000 soles.

- Torre de policondensación: A través del nitrógeno se renuevan los sobrantes de materia, se pasa por un proceso de cristalización y policondensación (reacción química para formar polímeros) lo que hace más resistente a la resina. Su capacidad es de 3500kg/hr y su costo es de S/150.000 soles.
- Ensacadora: Su función es llenar sacos de 1tn de pellet de grado alimenticio. Tiene una capacidad de 50 sacos/hora. Su costo es de S/15,000.
- Montacarga: Se encarga del transporte de pacas de plástico. Su capacidad es de 3tn. Su costo es de S/26,500 soles.








**Tabla 10**




*Descripción de equipos*

Nombre	Planta	Seccion	Descripcion	Capacidad (Kg)	Prod X 8 Hora	Precio (S/.)	Altura	Imagen	Cantidad	Costo
Vehículo recolector de residuos	Reciclaje y producción de resinas de "polietileno tereftalato"	Adquisición de desechos urbanos	Equipo de transporte a motor, compresor para el tratamiento de desechos urbanos.	25000	2500	S/ 195,000.00	2.94		1	S/ 195,000.00
"Camión recolector de residuos urbanos segregados"	Reciclaje y fabricación de resinas de PET	Aceptación residuos urbanos	"Camión furgón"	15000	15000	S/ 195,000.00			1	S/ 195,000.00
"Balanza de pesaje portátil para camiones"	"Reciclaje y fabricación de resinas de PET"	Acogimiento de residuos urbanos	"Innovadoras básculas para vehículos con doble carril, fácilmente transportable e instalables"	80000	80000	S/ 6,000.00	0.4		1	S/ 6,000.00
"Balanza industrial"	Reaprovechamiento y fabricación de resinas de PET	Evaluación de materia prima de entrada y selección manual de materiales aprovechables.	"Son de acero inoxidable, prácticas y fáciles de usar para el transporte y pesado de la materia prima dentro de la planta"	6000	48000	S/ 2,500.00	1.95		1	S/ 2,500.00



Faja de transporte	Reciclaje y elaboración de resinas de PET	Examinación manual de los productos de ingreso y selección a mano de productos recuperables.	Vehículo empleado para la clasificación de residuos reciclables mientras se desplazan por la cinta transportadora	35000 kg/hr	280000	S/ 9,900.00	0.95		1	S/ 9,900.00
“Prensa enfardadora hidráulica”	“Reciclaje y fabricación de resinas de PET”	“Evaluación de materiales de entrada y selección manual de materiales recuperables”	“Cuenta con un motor trifásico de 3HP, con válvula reguladora de presión”	250 fardos/hr	2000	S/ 10,250.00	2.3		1	S/ 10,250.00
“Faja transportadora elevada”	“Reciclaje y fabricación de resinas de PET”	“Alimentación y elaboración de resinas”	“Sistema de transporte de los plásticos segregados”	4000 kg/H	32000	S/ 8,250.00	1		1	S/ 8,250.00
“Cámara de prelavado”	“Reciclaje y fabricación de resinas de PET”	“Alimentación y elaboración de resinas”	“El tanque de prelavado tiene la función de resolver y piedras separadas y metales pesados en la fase de prelavado, que podría dañar las máquinas siguientes”	5.500 kg/h	44000	S/ 18,000.00	4.1		1	S/ 18,000.00

“Máquina segregadora automática”	“Reciclaje y elaboración de resinas de PET”	“Alimentación y elaboración de resinas”	“Tecnología de infrarrojos para escanear materiales como los plásticos mezclados (PET, PP, PVC, y otros), papel mixto, vidrio, C y D, y los materiales de residuos sólidos urbanos. El uso de esta tecnología innovadora puede ordenar por tamaño, color, peso y forma”	8000 kg/h	64000	S/ 20,000.00	3.4		1	S/ 20,000.00
“Cámara de molienda”	“Reciclaje y fabricación de resinas de PET”	“Alimentación y elaboración de resinas”	“Por medio de un rotor impulsado por un motor tritura el plástico, la máquina es anti ruido”	2000 kg/h	16000	S/ 50,000.00	2.6		2	S/ 100,000.00
“Lavadora a fricción”	“Reciclaje y fabricación de resinas de PET”	“Alimentación y elaboración de resinas”	“Adecuado para ser instalado en procesos de lavado de botellas de plástico para remover residuos, otros plásticos, tapas y pegamento”	4000 kg/h	32000	S/ 32,340.00	1.6		2	S/ 64,680.00
“Centrifuga”	“Reciclaje y fabricación de resinas de PET”	“Alimentación y elaboración de resinas”	“Adecuado para ser instalado al final de un proceso de lavado para remover agua”	3000 kg/H	24000	S/ 34,230.00	1.6		1	S/ 34,230.00
“Silos de almacenamiento”	“Reciclaje y fabricación de resinas de PET”	“Alimentación y elaboración de resinas”	“En ellos se logra la homogenización de las hojuelas para luego ser llevadas a extrusión”	10000 kg/h	8000	S/ 14,000.00			1	S/ 14,000.00
“Extrusora”	“Reciclaje y fabricación de resinas de PET”	“Alimentación y elaboración de resinas”	“Se funde la hojuela y se transforma resinas de PET”	2000 kg/h	16000	S/ 50,000.00	1.8			1

“Torre de policondensación”	“Reciclaje y fabricación de resinas de PET”	“Alimentación y producción de resinas”	“A través del nitrógeno se renuevan los sobrantes de materia, pasa por un proceso de cristalización y policondensación (reacción química para formar polímeros) lo que hace más resistente la resina”	3500 kg/h	28000	S/ 150,000.0 0	10		1	S/ 150,000.00
“Ensayadora”	“Reciclaje y fabricación de resinas de PET”	“Alimentación y preparación de resinas”	“Llenadora de sacos Big Bag (1000kg)”	50 sacos/hora	400	S/ 15,000.00	2.6		1	S/ 15,000.00
“Montacargas”	“Reciclaje y fabricación de resinas de PET”	“Alimentación y elaboración de resinas”	“Transporte de las pacas de plástico”	3000 kg	24000	S/ 26,250.00	3.27		1	S/ 26,250.00

Nota. Elaboración propia

**Tabla 10** Descripción de equipos

e. Mano de Obra:

- Mano de obra directa:

La mano de obra directa será distribuida de la siguiente forma:

**Tabla 11**

*Distribución de personal de mano de obra directa*

Accion	Cantida d de Personal	Costo	Onp	Essalud	Sueldo Mensual De Colaborado r	Total Anual	Gratificacione s	Cts	Total Anual	Total
RECOJO DE DESECHOS HUMANOS	4	S/ 1,200.00	S/ 156.00	S/ 108.00	S/ 1,308.00	S/ 15,696.00	S/ 2,616.00	S/ 1,200.00	S/ 19,512.00	S/ 78,048.00
RECOJO DE DESECHOS HUMANOS SEGREGADOS	4	S/ 1,200.00	S/ 156.00	S/ 108.00	S/ 1,308.00	S/ 15,696.00	S/ 2,616.00	S/ 1,200.00	S/ 19,512.00	S/ 78,048.00
RECEPCION Y PESADO	4	S/ 1,300.00	S/ 169.00	S/ 117.00	S/ 1,417.00	S/ 17,004.00	S/ 2,834.00	S/ 1,300.00	S/ 21,138.00	S/ 84,552.00
SELECCIÓN MANUAL	15	S/ 1,300.00	S/ 169.00	S/ 117.00	S/ 1,417.00	S/ 17,004.00	S/ 2,834.00	S/ 1,300.00	S/ 21,138.00	S/ 317,070.00
ENFARDAMIENTO	3	S/ 1,300.00	S/ 169.00	S/ 117.00	S/ 1,417.00	S/ 17,004.00	S/ 2,834.00	S/ 1,300.00	S/ 21,138.00	S/ 63,414.00
CLASIFICACION DE PET	5	S/ 1,300.00	S/ 169.00	S/ 117.00	S/ 1,417.00	S/ 17,004.00	S/ 2,834.00	S/ 1,300.00	S/ 21,138.00	S/ 105,690.00
PRE-LAVADO	3	S/ 1,300.00	S/ 169.00	S/ 117.00	S/ 1,417.00	S/ 17,004.00	S/ 2,834.00	S/ 1,300.00	S/ 21,138.00	S/ 63,414.00
MOLIENDA	3	S/ 1,300.00	S/ 169.00	S/ 117.00	S/ 1,417.00	S/ 17,004.00	S/ 2,834.00	S/ 1,300.00	S/ 21,138.00	S/ 63,414.00
LAVADO	3	S/ 1,300.00	S/ 169.00	S/ 117.00	S/ 1,417.00	S/ 17,004.00	S/ 2,834.00	S/ 1,300.00	S/ 21,138.00	S/ 63,414.00
SECADO	3	S/ 1,300.00	S/ 169.00	S/ 117.00	S/ 1,417.00	S/ 17,004.00	S/ 2,834.00	S/ 1,300.00	S/ 21,138.00	S/ 63,414.00
HOMOGENIZADO	3	S/ 1,300.00	S/ 169.00	S/ 117.00	S/ 1,417.00	S/ 17,004.00	S/ 2,834.00	S/ 1,300.00	S/ 21,138.00	S/ 63,414.00
EXTRUSION	3	S/ 1,300.00	S/ 169.00	S/ 117.00	S/ 1,417.00	S/ 17,004.00	S/ 2,834.00	S/ 1,300.00	S/ 21,138.00	S/ 63,414.00
POLICONDENSACION	3	S/ 1,300.00	S/ 169.00	S/ 117.00	S/ 1,417.00	S/ 17,004.00	S/ 2,834.00	S/ 1,300.00	S/ 21,138.00	S/ 63,414.00
ENSACADO	3	S/ 1,300.00	S/ 169.00	S/ 117.00	S/ 1,417.00	S/ 17,004.00	S/ 2,834.00	S/ 1,300.00	S/ 21,138.00	S/ 63,414.00
<b>TOTAL DE GASTO EN MANO DE OBRA DIRECTA</b>									S/ 292,680.00	S/ 1,234,134.00

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 11** Distribución de personal de mano de obra directa

- Mano de obra indirecta:

**Tabla 12***Distribución de personal de mano de obra indirecta*

	Cantidad	Sueldo	Onp	Essalud	Sueldo Mensual	Sueldo Anual	Gratificaciones	Cts	total anual	total
Gerente de produccion	1	S/ 10,000.00	S/ 1,300.00	S/ 900.00	S/ 10,900.00	S/ 130,800.00	S/ 21,800.00	S/ 10,000.00	S/ 162,600.00	S/ <b>162,600.00</b>
Supervisor de planta	1	S/ 8,000.00	S/ 1,040.00	S/ 720.00	S/ 8,720.00	S/ 104,640.00	S/ 17,440.00	S/ 8,000.00	S/ 130,080.00	S/ <b>130,080.00</b>
Seguridad de planta	3	S/ 3,000.00	S/ 390.00	S/ 270.00	S/ 3,270.00	S/ 39,240.00	S/ 6,540.00	S/ 3,000.00	S/ 48,780.00	S/ <b>146,340.00</b>
<b>TOTAL DE GASTO EN MANO DE OBRA INDIRECTA</b>									S/ 341,460.00	S/ <b>439,020.00</b>

*Nota.* Elaboración propia

*Tabla 12* Distribución de personal de mano de obra indirecta

### 4.3.Respuesta a la hipótesis

#### 4.3.1. Respuesta a la primera hipótesis específica 1: Costos iniciales

Se analizaron tres categorías principales de costos iniciales: infraestructura, tecnología y capacitación. Estos representan los pilares fundamentales para implementar el modelo de “economía circular” en la gestión del PET en el Cercado de Lima.

La infraestructura constituye la base del modelo y concentra la mayor parte de la inversión inicial. En esta categoría, se destaca la adquisición del terreno, cuyo costo asciende a S/ 4,025,000, lo que representa un 74% del total. Además, se han considerado las edificaciones necesarias para la planta de procesamiento, que requieren una inversión de S/ 543,073, y las oficinas administrativas, con un costo adicional de S/ 211,587. Las mejoras al terreno, necesarias para garantizar un uso eficiente, suman S/ 303,275.

En cuanto a la tecnología, los costos principales corresponden a la adquisición de un camión recolector especializado, con un costo de S/ 195,000, y maquinaria de procesamiento, que incluye equipos como cámaras de molienda, lavadoras a fricción, prensas enfardadoras y otros, cuyo monto total asciende a S/ 479,830. Estas herramientas son esenciales para asegurar una operación eficiente en el manejo del PET.

Finalmente, se incluye un componente de capacitación destinado a entrenar al personal operativo y administrativo. Este programa tiene un costo estimado de S/ 50,000 y busca garantizar que los operadores cuenten con las habilidades necesarias para gestionar de manera adecuada el sistema propuesto.

**Tabla 13**

*Costos iniciales*

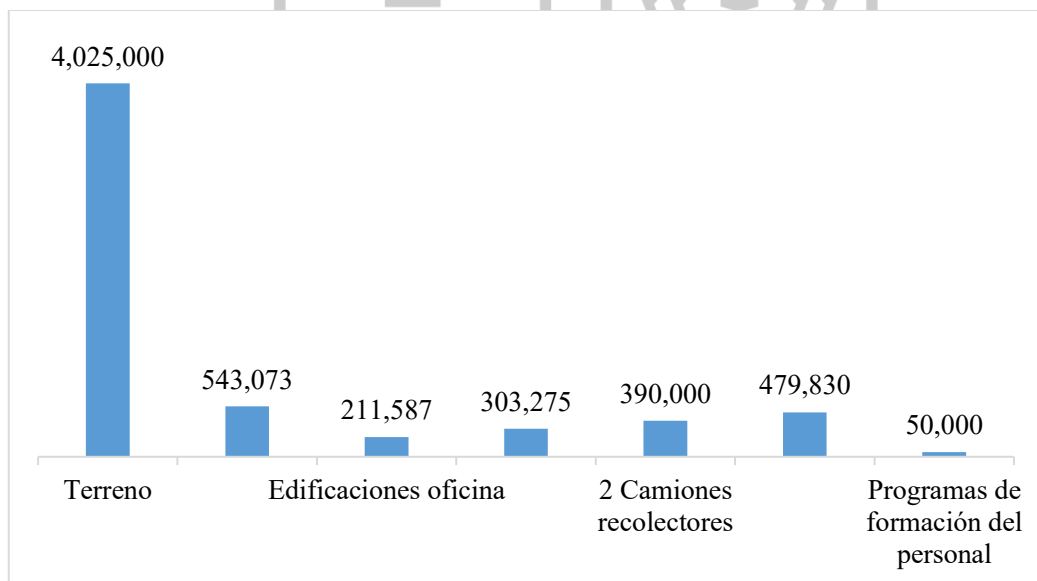
Categoría	Elemento	Costo (S/.)
Infraestructura	Terreno	4,025,000
Infraestructura	Edificaciones planta	543,073
Infraestructura	Edificaciones oficina	211,587
Infraestructura	Mejoras de terreno	303,275
Tecnología	2 camiones recolectores	390,000
Tecnología	Maquinaria de procesamiento (cámaras de molienda, lavadoras a fricción, prensas y otros equipos)	479,830
Capacitación	Programas de formación del personal	50,000
<b>Total</b>		<b>6,002,765</b>

*Nota.* Elaboración propia

*Tabla 13 Costos iniciales*

**Figura 9**

*Distribución de costos iniciales*

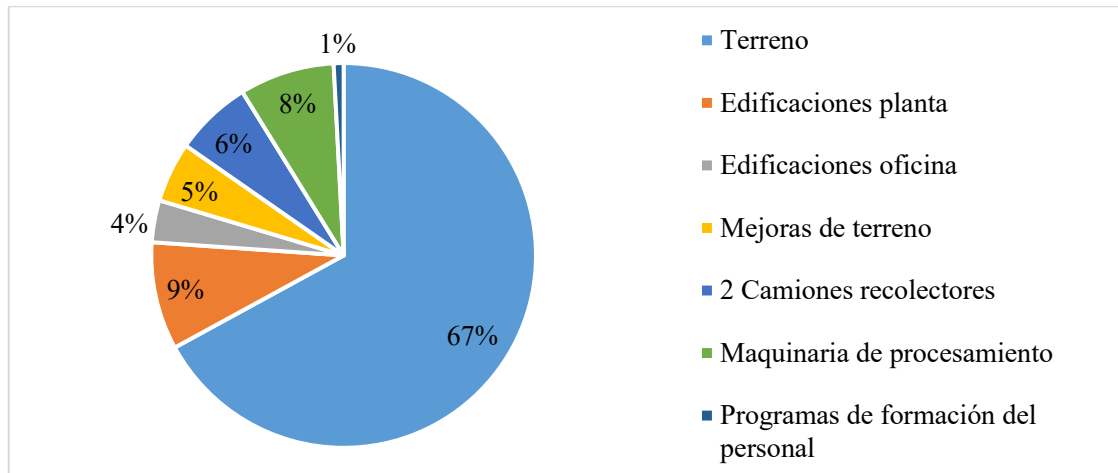


*Nota.* Elaboración propia

*Ilustración 9 Distribución de costos iniciales*

**Figura 10**

*Porcentaje de costos iniciales*



*Nota.* Elaboración propia

*Ilustración 10* Porcentaje de costos iniciales

El análisis visual muestra que el 67% de la inversión inicial está destinada a infraestructura, un 13% a edificaciones, 5% en mejoras de terreno, y solo el 1% en capacitación del personal.

La categoría de infraestructura domina los costos iniciales, con un monto total de S/ 6 millones, lo que reafirma la importancia de contar con instalaciones adecuadas para la valorización del PET; el terreno, que representa el mayor porcentaje, es crucial para garantizar la ubicación y funcionalidad de la planta. Las edificaciones y las mejoras al terreno complementan esta inversión, asegurando espacios óptimos para las operaciones y la gestión administrativa.

Por su parte, la tecnología, aunque con un menor porcentaje del total, es fundamental para las operaciones diarias, el camión recolector permitirá un transporte eficiente de los residuos, mientras que la maquinaria asegura el procesamiento adecuado del material reciclable; finalmente, la capacitación, aunque representa una menor proporción, es esencial para que el personal esté preparado para operar con eficiencia los equipos y gestionar correctamente el modelo.

Los costos iniciales para la implementación del modelo de “economía circular” en la gestión del PET ascienden a S/ 6 millones, este monto incluye inversiones significativas en infraestructura, tecnología y capacitación, lo que valida la hipótesis de que los costos iniciales son elevados pero esenciales para garantizar la viabilidad del

proyecto. Con una recuperación proyectada en el mediano plazo, estos costos representan una inversión estratégica hacia un modelo sostenible y rentable.

#### 4.3.2. Respuesta a la segunda hipótesis específica 2: Beneficios económicos y ambientales.

La aplicación de modelos de “economía circular” en la gestión de residuos, como el PET, no solo muestra una solución innovadora a los desafíos ambientales actuales, sino que también tiene la oportunidad de generar beneficios económicos y sociales, se analizó la viabilidad del modelo de economía circular enfocado en la valorización de residuos plásticos en el distrito del Cercado de Lima para el año 2024.

Este análisis tuvo como objetivo mostrar los beneficios económicos y ambientales derivados de dicho modelo, incluyendo ingresos por valorización del PET, reducción en la disposición de residuos en rellenos sanitarios y la contribución a la mitigación del impacto ambiental, con este enfoque, se busca proporcionar un respaldo técnico y financiero que valide la importancia de adoptar estrategias sostenibles en la gestión de residuos.

##### ***Beneficios Económicos***

##### **Ingresos por valorización de PET:**

- Capacidad anual estimada: 3,254 toneladas de PET.
- Precio promedio por tonelada: S/ 3,750.

##### **Costos operativos anuales:**

- Mano de obra directa: S/ 1,23 millones
- Mano de obra indirecta: S/ 439,020.00.
- Costo de producción: S/ 54,341.85.
- CIF (costos indirectos de fabricación): S/ 78,076

**Tabla 14**

*Beneficios Económicos (2024)*

<b>Concepto</b>	<b>Valor (S/.)</b>
Ingresos por valorización	12,202,450.64
Costos operativos totales	1,805,571.58
<b>Flujo Neto Operativo</b>	<b>10,396,879.06</b>

*Nota.* Elaboración propia

*Tabla 14 Beneficios económicos (2024)*

##### ***Beneficios Ambientales***



### **Reducción de residuos plásticos:**

- Cantidad de residuos plásticos evitados: 9 toneladas diarias.
- Cantidad anual: 9 toneladas diarias x 365 días = 3,254 toneladas anuales.

### **Mitigación de emisiones de CO2:**

La gestión adecuada de residuos plásticos, como el PET, aporta importantes beneficios ambientales, entre los cuales destaca la mitigación de emisiones de CO<sub>2</sub>; este impacto positivo se debe a que el reciclaje de PET evita la necesidad de producir plástico nuevo a partir de materias primas vírgenes, reduciendo así el consumo de energía y las emisiones asociadas a procesos como la extracción, transporte y refinación de petróleo.

Se estima que por cada tonelada de PET reciclada se pueden evitar aproximadamente 1.5 toneladas de CO<sub>2</sub>. Considerando que este modelo de gestión permite evitar 9 toneladas diarias de residuos plásticos, la reducción diaria de emisiones asciende a 13.5 toneladas de CO<sub>2</sub>. A lo largo de un año, esto representa una disminución significativa de 4,881 toneladas de CO<sub>2</sub>, contribuyendo directamente a los esfuerzos globales para combatir el cambio climático.

Este enfoque no solo ayuda a preservar los recursos naturales y reducir la contaminación plástica, sino que también se alinea con los objetivos de sostenibilidad y transición hacia una economía más verde y circular.

### **Relación Beneficio-Costo (B/C) 2024:**

Cálculo:

- Beneficios Totales: S/ 12,20 millones
- Costos Totales: S/ 6,002,765
- $B/C = 12,202,500 / 6,002,765 = 2.03$

El análisis de la relación beneficio-costo (B/C) para el año 2024 arroja un valor de 2.03, lo que indica que, por cada sol invertido en el proyecto, se generan 2.03 soles en beneficios; este resultado demuestra que el proyecto es rentable, ya que los beneficios totales superan ampliamente a los costos asociados.

Una relación B/C mayor a 1, como en este caso, refleja que la inversión no solo recupera los costos iniciales, sino que también genera un valor significativo adicional, lo que respalda la viabilidad económica del proyecto, este indicador refuerza la importancia de implementar el modelo propuesto, ya que no solo genera impacto positivo desde el punto de vista ambiental, sino que también es financieramente sostenible y beneficioso a largo plazo.

**Tabla 15**  
*Flujo de caja (proyecciones 10 años)*

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
<b>Ingresos</b>											
Ingresos por Ventas		S/ 12,202,450.64	S/ 12,312,454.76	S/ 12,423,450.55	S/ 12,535,446.96	S/ 12,648,453.02	12762477.81	12877530.52	12993620.43	13110756.88	13228949.31
Otros ingresos											
<b>Total ingresos</b>		<b>S/ 12,202,450.64</b>	<b>S/ 12,312,454.76</b>	<b>S/ 12,423,450.55</b>	<b>S/ 12,535,446.96</b>	<b>S/ 12,648,453.02</b>	<b>S/ 12,762,477.81</b>	<b>S/ 12,877,530.52</b>	<b>S/ 12,993,620.43</b>	<b>S/ 13,110,756.88</b>	<b>S/ 13,228,949.31</b>
<b>Egresos</b>											
Mano de obra directa		S/ 1,234,134.00	S/ 1,234,134.00	S/ 1,234,134.00	S/ 1,234,134.00	S/ 1,234,134.00	S/ 1,234,134.00	S/ 1,234,134.00	S/ 1,234,134.00	S/ 1,234,134.00	S/ 1,234,134.00
Mano de obra indirecta		S/ 439,020.00	S/ 439,020.00	S/ 439,020.00	S/ 439,020.00	S/ 439,020.00	S/ 439,020.00	S/ 439,020.00	S/ 439,020.00	S/ 439,020.00	S/ 439,020.00
Costo de producción		S/ 54,341.58	S/ 54,831.47	S/ 55,325.77	S/ 55,824.52	S/ 56,327.78	56835.56784	57347.93594	57864.92299	58386.57064	58912.92091
CIF		S/ 78,076.00	S/ 78,076.00	S/ 78,076.00	S/ 78,076.00	S/ 78,076.00	S/ 78,076.00	S/ 78,076.00	S/ 78,076.00	S/ 78,076.00	S/ 78,076.00
<b>Total egresos</b>		<b>S/ 1,805,571.58</b>	<b>S/ 1,806,061.47</b>	<b>S/ 1,806,555.77</b>	<b>S/ 1,807,054.52</b>	<b>S/ 1,807,557.78</b>	<b>S/ 1,808,065.57</b>	<b>S/ 1,808,577.94</b>	<b>S/ 1,809,094.92</b>	<b>S/ 1,809,616.57</b>	<b>S/ 1,810,142.92</b>
<b>Flujo de Caja Operativo</b>		<b>S/ 10,396,879.06</b>	<b>S/ 10,506,393.29</b>	<b>S/ 10,616,894.78</b>	<b>S/ 10,728,392.44</b>	<b>S/ 10,840,895.24</b>	<b>S/ 10,954,412.24</b>	<b>S/ 11,068,952.59</b>	<b>S/ 11,184,525.51</b>	<b>S/ 11,301,140.31</b>	<b>S/ 11,418,806.39</b>
(-) Inversión	6,002,765										
<b>Flujo de Caja Económico</b>	<b>6,002,765.00</b>	<b>S/ 10,396,879.06</b>	<b>S/ 10,506,393.29</b>	<b>S/ 10,616,894.78</b>	<b>S/ 10,728,392.44</b>	<b>S/ 10,840,895.24</b>	<b>S/ 10,954,412.24</b>	<b>S/ 11,068,952.59</b>	<b>S/ 11,184,525.51</b>	<b>S/ 11,301,140.31</b>	<b>S/ 11,418,806.39</b>
Tasa de descuento	10.00%										
<b>Resultados</b>	<b>A</b>										
VAN	S/ 46,173,052.49										
TIR	1.74										
B/C (10 Años)	S/ 18.16										

*Nota.* Elaboración propia

*Tabla 15* Flujo de caja (proyecciones en 10 años)

La tabla 15 refleja un análisis proyectado del flujo de caja a lo largo de 10 años, evidenciando una tendencia de crecimiento constante en los ingresos y estabilidad en los egresos, los ingresos por ventas aumentan de 12,20 millones en el Año 0 a 13,22 millones en el Año 10, lo que indica una proyección positiva de la demanda o capacidad de producción, mientras tanto, los costos operativos, como la mano de obra directa e indirecta, así como los costos indirectos de fabricación (CIF), permanecen constantes, destacando una estructura de costos controlada y predecible.

El flujo de caja operativo muestra un incremento gradual, pasando de 10,34 millones en el primer año a 11,43 millones en el décimo, lo que indica una mejora sostenida en la generación de recursos disponibles, en términos de resultados financieros, el proyecto demuestra una alta rentabilidad, con un Valor Actual Neto (VAN) de 46,17 millones, lo que reafirma su viabilidad económica. Asimismo, la relación beneficio/costo (B/C) de 18.16 refleja que, por cada unidad monetaria invertida, se generan 18.16 unidades de retorno, consolidando la atraktividad del proyecto.

En conjunto, la tabla evidencia un modelo financiero robusto y bien estructurado, con proyecciones sólidas que justifican la inversión propuesta y garantizan un impacto positivo sostenido a lo largo del tiempo.

#### **4.3.3. Respuesta a la hipótesis general: La implementación de un modelo de economía circular enfocado en la gestión del PET en el distrito Cercado de Lima es económicamente viable y genera beneficios sociales y ambientales significativos.**

La implementación de un modelo de economía circular enfocado en la gestión del PET en el distrito Cercado de Lima es económicamente viable y genera beneficios sociales y ambientales significativos, el análisis realizado ayuda esta hipótesis a través de los resultados obtenidos en los aspectos económicos, sociales y ambientales. A continuación, se detallan las evidencias que sustentan esta afirmación:

##### **Viabilidad económica:**

Los resultados financieros del proyecto demuestran que la implementación del modelo de economía circular es altamente viable desde el punto de vista económico, y los principales indicadores financieros confirman su rentabilidad:

*Valor Actual Neto (VAN):* Con un VAN de S/ 46,17 millones, el proyecto genera un excedente significativo de valor para los inversionistas, lo que valida su capacidad para recuperar los costos iniciales y obtener beneficios a largo plazo.

*Tasa Interna de Retorno (TIR):* La TIR de 1.74 supera ampliamente la tasa de descuento del 10%, lo que confirma que el proyecto ofrece una rentabilidad superior al costo de oportunidad del capital.

*Relación Beneficio-Costo (B/C):* Con una relación B/C de 18.16 en el horizonte de 10 años, el proyecto genera S/ 18.16 por cada sol invertido, destacando su eficiencia y capacidad para maximizar los recursos.

Estos resultados financieros consolidan la viabilidad económica del modelo, resaltando que los beneficios generados superan ampliamente los costos iniciales y operativos, asegurando la sostenibilidad financiera del proyecto.

### **Impacto ambiental:**

La implementación del modelo genera impactos ambientales positivos, contribuyendo a la sostenibilidad y la mitigación del cambio climático:

*Reducción de residuos plásticos:* La gestión adecuada del PET permite evitar 9 toneladas diarias de residuos plásticos, lo que equivale a 3,254 toneladas anuales, disminuyendo significativamente la acumulación de desechos en rellenos sanitarios.

*Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>:* Al reciclar PET, se evita la emisión de 1.5 toneladas de CO<sub>2</sub> por cada tonelada reciclada, lo que representa una reducción total de 4,881 toneladas de CO<sub>2</sub> al año, este aporte contribuye directamente a los esfuerzos globales para combatir el cambio climático.

### **Impacto social:**

El modelo también genera beneficios sociales significativos, impulsando la inclusión y el desarrollo en la comunidad:

*Generación de empleo:* La operación del proyecto requiere personal capacitado tanto en áreas operativas como administrativas, se estima la creación de empleos directos e indirectos, promoviendo oportunidades laborales en el Cercado de Lima.

*Capacitación y formación:* La inversión en programas de capacitación asegura que los empleados desarrollen competencias técnicas para operar la tecnología y gestionar el modelo, fomentando el desarrollo humano y profesional.

*Concientización ambiental:* La implementación del modelo tiene el potencial de generar un cambio cultural en la gestión pública y la comunidad, promoviendo prácticas responsables en el manejo público de residuos y el reciclaje, contribuyendo a una mayor sensibilización y participación ciudadana.

Los resultados obtenidos demuestran que la implementación del modelo de economía circular enfocado en la gestión del PET en el Cercado de Lima es económicamente viable, y genera beneficios ambientales y sociales importantes, el impacto positivo del modelo trasciende lo económico, contribuyendo a la mitigación del cambio climático, la reducción de residuos plásticos y la mejora de la calidad de vida de la comunidad local. Por tanto, este proyecto contribuye a una solución integral que responda a los desafíos actuales de sostenibilidad, promoviendo un enfoque responsable y eficiente en la “gestión de residuos sólidos”.

De igual forma se realiza el análisis de sensibilidad:

**Tabla 16**

*Escenarios Variables Clave*

Variable	Base	Escenario Optimista (+20%)	Escenario Pesimista (-20%)
Ingresos por ventas	S/ 12,202,450.64	S/ 14,642,940.77	S/ 9,761,960.51
Costos directos	S/ 1,805,571.58	S/ 2,166,685.90	S/ 1,444,457.26
Tasa de descuento	10%	12%	8%

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 17**

*Impacto en Indicadores Financieros*

Indicador	Base	Escenario Optimista (+20%)	Escenario Pesimista (-20%)
VAN	S/ 46,173,052.49	S/ 55,407,662.99	S/ 36,938,441.99
TIR	1.74	2.09	1.39
Relación B/C	18.16117936	21.79	14.53
Flujo de caja económico	S/ 10,396,879.06	S/ 12,476,254.87	S/ 8,317,503.25

*Nota.* Elaboración propia

*Tabla 16 Escenarios Variables Clave*

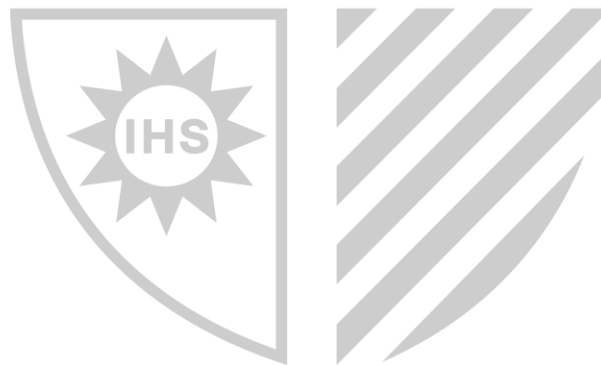
El análisis de sensibilidad presentado en las tablas 16 y 17 permiten evaluar cómo las variaciones en las variables clave afectan los indicadores financieros del proyecto, este análisis incluye los escenarios base, optimista (+20%) y pesimista (-20%), considerando ingresos por ventas, costos directos y la tasa de descuento.

Los ingresos por ventas muestran una alta sensibilidad, ya que un aumento del 20% genera ingresos de S/ 14,64 millones mientras que una disminución del 20% reduce

los ingresos a S/ 9,76 millones, impactando directamente los flujos económicos. Los costos directos, aunque también influyen en los resultados, tienen un impacto menor, en el escenario optimista, los costos aumentan a S/ 2,17 millones, mientras que en el pesimista se reducen a S/ 1,44 millones

En términos de los indicadores financieros, el VAN oscila entre S/ 55,41 millones en el escenario optimista y S/ 36,94 millones en el pesimista, manteniéndose positivo en todos los casos y asegurando la viabilidad del proyecto. La TIR también supera consistentemente la tasa de descuento del 10%, alcanzando 2.09 en el escenario optimista y reduciéndose a 1.39 en el pesimista. Asimismo, la relación B/C demuestra que el proyecto genera beneficios significativos, incluso en escenarios desfavorables, con valores que van desde 21.79 a 14.53.

Finalmente, el flujo de caja económico refleja la capacidad del proyecto para mantener flujos positivos en todos los escenarios, variando entre S/ 12,75 millones en el optimista y S/ 8,32 millones en el pesimista, esto evidencia la resiliencia del modelo y su viabilidad económica incluso bajo condiciones menos favorables, consolidando la sostenibilidad del proyecto y su capacidad para generar valor a largo plazo.



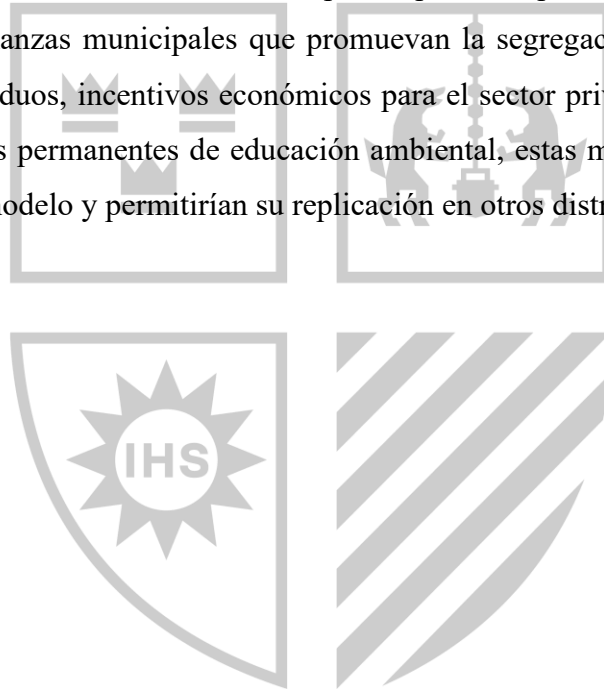
## CONCLUSIONES

En relación con el objetivo general, que busca determinar la viabilidad económica y los beneficios sociales y ambientales de implementar un modelo de “economía circular” enfocado en la gestión del PET en el distrito Cercado de Lima durante el año 2024, se concluye que la implementación de este modelo es económicamente viable y ofrece múltiples beneficios tanto a nivel social como ambiental, el análisis realizado demuestra que, mediante la implementación de un sistema de reciclaje eficiente, se podría reducir significativamente la cantidad de PET que termina en vertederos, promoviendo un ciclo cerrado en la gestión de residuos. Los datos indican que la adopción de este modelo podría generar ahorros sustanciales en la gestión de residuos y al mismo tiempo, crear empleo verde, mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y reducir el impacto ambiental de los residuos plásticos, contribuyendo de manera efectiva a la sostenibilidad de la ciudad.

En cuanto al primer objetivo específico, que consiste en identificar los costos asociados a la implementación del modelo de “economía circular” para la gestión del PET en el Cercado de Lima, los resultados muestran que, aunque la implementación inicial de la infraestructura de reciclaje y las tecnologías necesarias representa una inversión considerable, siendo de 6 millones, los costos a largo plazo son significativamente inferiores a los gastos asociados con la disposición de residuos en rellenos sanitarios. A través del análisis de los costos, se observó que la inversión en plantas de reciclaje y equipos de separación de PET se ve compensada por los ahorros derivados de la reducción en la cantidad de residuos destinados a vertederos y la valorización de los materiales reciclados. De esta forma, la inversión inicial en el modelo de “economía circular” se justifica y resulta rentable a mediano y largo plazo.

Respecto al segundo objetivo específico, que busca evaluar los beneficios económicos y ambientales derivados de la implementación del modelo de “economía circular”, se concluye que este modelo no solo presenta beneficios económicos tangibles,

como la generación de nuevos empleos y la creación de una fuente constante de ingresos a través de la valorización del PET, sino que también tiene un impacto positivo considerable en el entorno natural, el reciclaje del PET contribuye a la reducción de la cantidad de residuos plásticos en vertederos, disminuyendo la contaminación ambiental y las emisiones de gases de efecto invernadero, además, los beneficios sociales asociados incluyen una mejora en la calidad de vida de los habitantes del Cercado de Lima, al disminuirse los problemas de salud pública causados por la acumulación de residuos no gestionados adecuadamente, la transición hacia una “economía circular” proporciona, por lo tanto, una solución integral que no solo mejora la gestión de residuos, sino que también genera un impacto positivo en la economía local y en la salud ambiental, en este contexto, los resultados justifican la necesidad de impulsar políticas públicas específicas, tales como nuevas ordenanzas municipales que promuevan la segregación en la fuente y la valorización de residuos, incentivos económicos para el sector privado y la ciudadanía, así como programas permanentes de educación ambiental, estas medidas reforzarían la sostenibilidad del modelo y permitirían su replicación en otros distritos urbanos.





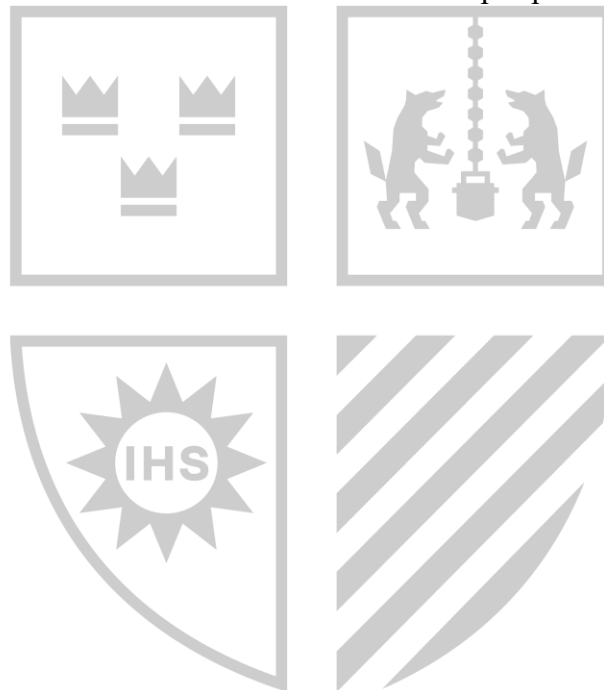
## RECOMENDACIONES

Dirigida a investigadores y autoridades locales en gestión de residuos: Dado que el modelo de “economía circular” en el manejo del PET ha demostrado ser eficaz en términos económicos, sociales y ambientales, sería beneficioso extender este modelo a otros tipos de residuos plásticos, en lugar de centrarse únicamente en el PET, en este sentido, se sugiere que futuras investigaciones y programas piloto aborden la incorporación de diversos plásticos al modelo circular, además, las autoridades locales podrían impulsar la actualización de las ordenanzas municipales para incorporar la segregación obligatoria en la fuente, la valorización diferenciada de residuos plásticos y la articulación con recicladores formalizados, como parte de una política pública integral de sostenibilidad urbana.

Dirigida a responsables de políticas públicas y posibles inversores: La inversión inicial en la infraestructura de reciclaje para la “economía circular” puede ser una barrera significativa, especialmente para municipios con recursos limitados, por eso, se recomienda investigar y desarrollar nuevas formas de financiamiento que faciliten la adopción del modelo, como fondos verdes, alianzas público-privadas o incluso crowdfunding orientado a la sostenibilidad. Involucrar a inversores interesados en proyectos verdes puede acelerar el proceso de implementación, además, un estudio más profundo sobre el retorno de inversión a mediano y largo plazo podría ayudar a los responsables de la formulación de políticas a ver la “economía circular” no solo como un gasto, sino como una inversión estratégica que podría generar ahorros y beneficios sustanciales a largo plazo.

Dirigida a profesionales de la “salud pública” y organismos encargados de la gestión ambiental: Aunque los beneficios ambientales y económicos de la economía circular son evidentes, es fundamental incluir también la salud pública como un indicador clave al examinar el impacto del modelo, la mejora en la gestión de residuos plásticos no solo favorece al medio ambiente, sino que también contribuye directamente a la salud de

los habitantes, al reducir la exposición a contaminantes y enfermedades relacionadas con la mala disposición de residuos, sería útil realizar estudios que incluyan estos aspectos de salud para demostrar cómo un modelo de economía circular puede prevenir enfermedades y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, además, se recomienda promover campañas permanentes de educación ambiental con enfoque preventivo en salud, que orienten a la población sobre prácticas de separación en la fuente y reducción del uso de plásticos, estas campañas fortalecerían el cambio cultural necesario para una gestión responsable de residuos, y permitirían justificar su implementación como una política pública intersectorial, los profesionales de la salud pública y los responsables del bienestar social podrían aprovechar estos datos para reforzar políticas de salud ambiental y prevenir enfermedades asociadas con la contaminación por plásticos.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca-Guerrero, L., Maas, G., & Hogland, W. (2015). Desafíos de la gestión de residuos sólidos para las ciudades de los países en desarrollo. *Revista Tecnología En Marcha*, 28(2), 141-168. [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0379-39822015000200141&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0379-39822015000200141&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- Aguado, I., Barrutia, J. M., & Etxebarria, C. (2008). Indicadores de desarrollo humano sostenible: Análisis comparativo de la experiencia española. *Ciudad y territorio: Estudios territoriales*, 155, 41-58. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2696026>
- Aguilera, A. (2017). El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas. *Cofin Habana*, 11(2), 322-343. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2073-60612017000200022&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2073-60612017000200022&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Alarcón, P. A., Acosta Acevedo, S., Correal, M., Piamonte, C., Rihm, A., Breukers, L., Durón, L., González, G., Hernández López, C., Sagasti, C., & Rojas Gutiérrez, A. (2023). *Evaluación regional de flujo de materiales: Residuos sólidos municipales para América Latina y el Caribe EVAL 2023*. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://doi.org/10.18235/0004841>
- Allevi, E., Gnudi, A., Konnov, I. V., & Oggioni, G. (2021). Gestión de residuos sólidos municipales en economía circular: un modelo de optimización secuencial. *Energy Economics*, 100, 105383. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105383>

- Angulo, N. (2010). Pobreza, medio ambiente y desarrollo sostenible. *Nómadas. Critical Journal of Social and Juridical Sciences*, 26(2).  
<https://www.redalyc.org/pdf/181/18118916003.pdf>
- Ayeleru, O. O., Okonta, F. N., & Ntuli, F. (2021). Análisis de costo-beneficio de una instalación municipal de reciclaje de residuos sólidos en Soweto, Sudáfrica. *Waste Management*, 134, 263-269. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.08.001>
- Azqueta, D., Alviar, M., Domínguez, L., & O’Ryan, R. (2007). *Introducción a la Economía Ambiental*. McGraw-Hill.
- Banco Mundial. (2020). 8 Trabajo decente y crecimiento económico: Aumentar la productividad y reducir el empleo vulnerable. En *The World Bank*.  
<https://datatopics.worldbank.org/sdgatlas/archive/2020/es/goal-8-decent-work-and-economic-growth/>
- Bocken, N. M. P., De Pauw, I., Bakker, C., & Van Der Grinten, B. (2016). Diseño de productos y estrategias de modelos de negocio para una economía circular. *Journal of Industrial and Production IHS Engineering*, 33(5), 308-320.  
<https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124>
- Boulding, K. E. (1966). La economía del conocimiento y el conocimiento de la economía en JSTOR. *The American Economic Review*, 56(1/2), 1-13.  
<https://www.jstor.org/stable/1821262>
- Brent, R. J. (2023). Análisis de costo-beneficio versus análisis de costo-efectividad desde una perspectiva social en la atención médica. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 4637. <https://doi.org/10.3390/ijerph20054637>
- Brouwer, M. T., Thoden Van Velzen, E. U., Augustinus, A., Soethoudt, H., De Meester, S., & Ragaert, K. (2018). Modelo predictivo para el sistema holandés de reciclaje de envases

- de plástico posconsumo e implicaciones para la economía circular. *Waste Management*, 71, 62-85. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.034>
- CEPAL. (2021). *Economía circular en América Latina y el Caribe: Oportunidad para una recuperación transformadora*. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/5fceda72-3fed-4ace-bb87-5688547cf2f5/content>
- Checca, J. A. (2020). *Mejora en la gestión de los residuos sólidos en el distrito de Andahuaylillas, Provincia de Quispicanchi, Cusco, 2022 basado en la economía circular* [Universidad Antonio Ruiz de Montoya]. <http://hdl.handle.net/20.500.12833/2473>
- Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Hacia la economía circular: justificación económica y empresarial para una transición acelerada*. [https://unfccc.int/documents/66280?gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQiA4L67BhDUARIsADWr17FY3d\\_9wLuqtydFWqavTVTGEKvJusQySa8w3-gaDXz2QbfBHBKjP3IaAsnEEALw\\_wcB](https://unfccc.int/documents/66280?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA4L67BhDUARIsADWr17FY3d_9wLuqtydFWqavTVTGEKvJusQySa8w3-gaDXz2QbfBHBKjP3IaAsnEEALw_wcB)
- Ellen MacArthur Foundation. (2019, marzo 14). *Nota de Prensa: Compromiso Global 2019*. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/press-release-global-commitment-2019>
- Eriksen, M. K., Christiansen, J. D., Daugaard, A. E., & Astrup, T. F. (2019). Cerrando el círculo de los residuos de PET, PE y PP de los hogares: influencia de las propiedades de los materiales y el diseño de productos para el reciclaje de plástico. *Waste Management*, 96, 75-85. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.07.005>
- Frosch, R. A., & Gallopoulos, N. E. (1989). Estrategias para la fabricación en JSTOR. *Scientific American*, 261(3), 144-153. <https://www.jstor.org/stable/24987406>
- Gall, M., Wiener, M., Chagas De Oliveira, C., Lang, R. W., & Hansen, E. G. (2020). Construyendo una economía circular del plástico con recicladores informales: calidad

- del reciclaje, modelo de negocio e impactos sociales. *Resources, Conservation and Recycling*, 156, 104685. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104685>
- Gandini, A. (2008). Polímeros procedentes de recursos renovables: un desafío para el futuro de los materiales macromoleculares. *Macromolecules*, 41(24), 9491-9504. <https://doi.org/10.1021/ma801735u>
- Gasde, J., Woidasky, J., Moesslein, J., & Lang-Koetz, C. (2020). Reciclaje de plásticos con clasificación basada en trazadores: desafíos de una tecnología radical potencial. *Sustainability*, 13(1), 258. <https://doi.org/10.3390/su13010258>
- Geissdoerfer, M., Pieroni, M. P. P., Pigosso, D. C. A., & Soufani, K. (2020). Modelos de negocio circulares: una revisión. *Revista de Producción Más Limpia*, 277, 123741. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123741>
- Geng, X., Song, N., Zhao, Y., & Zhou, T. (2022). Recuperación de recursos plásticos residuales a partir de desechos depositados en vertederos: un novedoso método de limpieza sin agua y su análisis de costo-beneficio. *Journal of Environmental Management*, 306, 114462. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114462>
- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). Una revisión sobre la economía circular: la transición esperada hacia una interacción equilibrada de los sistemas ambientales y económicos. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2022). Cambio climático: Una amenaza para el bienestar de la humanidad y la salud del planeta. En IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/resources/press/press-release-spanish/>
- Hanley, N. (1992). ¿Existen límites ambientales para el análisis de costo-beneficio? *Environmental and Resource Economics*, 2(1), 33-59. <https://doi.org/10.1007/BF00324688>

- Huamaní, M., Tudela, J. W., & Huamaní, A. (2020). Gestión de residuos sólidos de la ciudad de Juliaca—Puno -Perú. *Journal of High Andean Research*, 22(1), 106-115. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.541>
- Iacovidou, E., Velis, C. A., Purnell, P., Zwirner, O., Brown, A., Hahladakis, J., Millward-Hopkins, J., & Williams, P. T. (2017). Métricas para optimizar el valor multidimensional de los recursos recuperados de los residuos en una economía circular: una revisión crítica. *Journal of Cleaner Production*, 166, 910-938. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.100>
- INEI. (2023). *Acceso a los servicios Básicos en el Perú, 2023*. Instituto Nacional de Estadística e Informática. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/6755317/5857246-acceso-a-los-servicios-basicos-en-el-peru-2023.pdf?v=1723216091>
- Jesus, A. de, & Mendonça, S. (2018). ¿Perdido en la transición? Impulsores y barreras en el camino de la ecoinnovación hacia la economía circular. *Ecological Economics*, 145, 75-89. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.08.001>
- Johansen, M. R., Christensen, T. B., Ramos, T. M., & Syberg, K. (2022). Una revisión de la cadena de valor del plástico desde la perspectiva de la economía circular. *Journal of Environmental Management*, 302, 113975. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113975>
- Kalmykova, Y., Sadagopan, M., & Rosado, L. (2018). Economía circular: desde la revisión de teorías y prácticas hasta el desarrollo de herramientas de implementación. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 190-201. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.034>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizando la economía circular: un análisis de 114 definiciones. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>

- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Economía circular: el concepto y sus limitaciones. *Ecological Economics*, 143, 37-46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>
- Marcelino-Aranda, M., Alcibar, A. M., Martínez-Rodríguez, M. C., & Camacho, A. D. (2022). La economía circular como alternativa hacia un nuevo modelo para la actividad industrial sustentable. *Revista Tecnología en Marcha*. <https://doi.org/10.18845/tm.v35i3.5599>
- McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *De la cuna a la cuna: destacando la forma en que hacemos las cosas*. North Point Press. <https://www.facebook.com/>
- Merli, R., Preziosi, M., & Acampora, A. (2018). ¿Cómo abordan los académicos la economía circular? Una revisión sistemática de la literatura. *Journal of Cleaner Production*, 178, 703-722. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.112>
- Meys, R., Frick, F., Westhues, S., Sternberg, A., Klankermayer, J., & Bardow, A. (2020). Hacia una economía circular para los residuos de envases de plástico: el potencial medioambiental del reciclaje químico. *Resources, Conservation and Recycling*, 162, 105010. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105010>
- MINAM. (2024a). *Estadística Ambiental—Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA)* [Base de datos estadística]. <https://sinia.minam.gob.pe/indicadores-estadisticas>
- MINAM. (2024b). *Problemática*. <https://www.gob.pe/58443-problematica>
- Ministerio del Ambiente. (2018). *En el Perú solo se recicla el 1.9% del total de residuos sólidos reaprovechables* | Ministerio del Ambiente. <https://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/en-el-peru-solo-se-recicla-el-1-9-del-total-de-residuos-solidos-reaprovechables/>
- Mordor Intelligence. (2024). *Tereftalato de polietileno (PET) Tamaño del Mercado* | Mordor Intelligence. <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/polyethylene-terephthalate-market>



- Morseletto, P. (2020). Objetivos para una economía circular. *Resources, Conservation and Recycling*, 153, 104553. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104553>
- Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). La economía circular: una exploración interdisciplinaria del concepto y la aplicación en un contexto global. *Journal of Business Ethics*, 140(3), 369-380. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>
- Naciones Unidas. (2019, noviembre 10). *UNEP circularity platform*. <https://www.unep.org/circularity>
- Naciones Unidas. (2021, marzo 26). *La economía circular: Un modelo económico que lleva al crecimiento y al empleo sin comprometer el medio ambiente* | Noticias ONU. <https://news.un.org/es/story/2021/03/1490082>
- OECD. (2018). *Análisis costo-beneficio y medio ambiente: desarrollos futuros y uso de políticas*. OECD. <https://doi.org/10.1787/9789264085169-en>
- OECD, European Commission, CAF Development Bank of Latin America, & Economic Commission for Latin America and the Caribbean. (2022). *Perspectivas económicas de América Latina 2022: Hacia una transición verde y justa*. OECD. <https://doi.org/10.1787/f2f0c189-es>
- O'Mahony, T. (2021). Análisis Costo-Beneficio y medio ambiente: El horizonte temporal es fundamental. *Environmental Impact Assessment Review*, 89, 106587. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106587>
- ONU. (2024). *Perspectiva Mundial de la Gestión de Residuos 2024 (Global Waste Management Outlook 2024)* [Informe técnico]. <https://www.unep.org/es/resources/perspectiva-mundial-de-la-gestion-de-residuos-2024>
- ONU-Habitat. (2021). El ODS 11. En *ONU-Habitat*. [https://onu-habitat.org/index.php/el-ods-](https://onu-habitat.org/index.php/el-ods-11)

- Paes, M. X., De Medeiros, G. A., Mancini, S. D., Bortoleto, A. P., Puppim De Oliveira, J. A., & Kulay, L. A. (2020). Gestión de residuos sólidos municipales: Análisis integrado de indicadores ambientales y económicos basados en el análisis del ciclo de vida. *Journal of Cleaner Production*, 254, 119848. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119848>
- Perlas, T. O. (2022). *Valoración económica por la mejora del sistema de recolección, transporte y limpieza pública de residuos sólidos municipales en el distrito de Putina—2020* [Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/17601>
- Pierri, N. (2001). Capítulo II: Historia del concepto de desarrollo sustentable. En G. Foladori & N. Pierri (Eds.), *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable* (pp. 27-79).
- Prieto-Sandoval, V., Jaca, C., & Ormazabal, M. (2018). Hacia un consenso sobre la economía circular. *Journal of Cleaner Production*, 179, 605-615. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.224>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2021). La Campaña Mares Limpios promueve el derecho a un medio ambiente saludable, incluidos océanos libres de plástico. En *ONU Programa para el medio ambiente*. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/la-campana-mares-limpios-promueve-el-derecho-un-medio-ambiente>
- Rathore, P., & Sarmah, S. P. (2020). Optimización económica, ambiental y social de la gestión de residuos sólidos en el contexto de la economía circular. *Computers & Industrial Engineering*, 145, 106510. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106510>
- Reike, D., Vermeulen, W. J. V., & Witjes, S. (2018). La economía circular: ¿nueva o renovada como CE 3.0? — Exploración de las controversias en la conceptualización de la economía circular centrándose en la historia y las opciones de retención del valor de los

- recursos. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 246-264.  
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027>
- República Sostenible. (2023). *Perú genera 1.2 millones de toneladas de residuos plásticos al año*. <https://especial.larepublica.pe/la-republica-sostenible/2023/07/05/peru-genera-12-millones-de-toneladas-de-residuos-plasticos-al-ano-269930>
- Riechmann, J. (1995). Desarrollo sostenible: La lucha por la interpretación. *De la economía a la ecología*, 11-36. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=603421>
- Rojas, W., & Sanchez, B. A. (2020). *Caracterización y valorización de los residuos sólidos municipales del Distrito de San Bernardino, Cajamarca 2017* [Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/24818>
- Romero, G. (2024). La gestión de residuos a escala global: Presente y Futuro. *RETEMA*. <https://www.retema.es/articulos-reportajes/la-gestion-de-residuos-escala-global-presente-y-futuro>
- Sarfraz, J., Gulin-Sarfraz, T., Nilsen-Nygaard, J., & Pettersen, M. K. (2020). Nanocompuestos para aplicaciones de envasado de alimentos: descripción general. *Nanomaterials*, 11(1), 10. <https://doi.org/10.3390/nano11010010>
- Sharma, B. K., & Chandel, M. K. (2021). Análisis de costos del ciclo de vida de escenarios de gestión de residuos sólidos municipales para Mumbai, India. *Waste Management*, 124, 293-302. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.002>
- Stahel, W., & Reday, G. (2020). Empleos para el mañana: el potencial para sustituir la energía por mano de obra. En *Superficies y vacío* (Número 2). Vantage Press. [https://books.google.com/books/about/Jobs\\_for\\_Tomorrow.html?hl=es&id=iWq3AA](https://books.google.com/books/about/Jobs_for_Tomorrow.html?hl=es&id=iWq3AA)  
AAIAAJ
- Tello, P., Campani, D., & Rosalba, D. (2018). *Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos*. Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental – AIDIS.

<https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/08/GESTION-INTEGRAL-DE-RESIDUOS-SOLIDOS-URBANOS-LIBRO-AIDIS.pdf>

Timaná, J. L. (2024). *Diseño y simulación de una planta de pirólisis para producir petróleo sintético a partir de residuos plásticos* [Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/27365>

Tomić, T., & Schneider, D. R. (2020). Economía circular en la gestión de residuos: efecto socioeconómico de los cambios en la estructura del sistema de gestión de residuos. *Journal of Environmental Management*, 267, 110564. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110564>

Torkashvand, J., Emamjomeh, M. M., Gholami, M., & Farzadkia, M. (2021). Análisis de costo-beneficio en el ciclo de vida de los residuos sólidos plásticos: combinación del análisis del flujo de residuos y el costo del ciclo de vida como herramienta de apoyo a la decisión para la selección del escenario óptimo. *Environment, Development and Sustainability*, 23(9), 13242-13260. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-01208-9>

Turner, R. K., & Pearce, D. W. (1990). *Fundamentos éticos del desarrollo económico sostenible*, Biblioteca de publicaciones del IIED. <https://www.iied.org/8015iied>

Unidas, N. (1987). *Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo Nota del Secretario General*. [https://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE\\_LECTURE\\_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf](https://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LECTURE_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf)

Vargas, A., Sarmiento Erazo, J. P., & Diaz, D. (2020). ¿Ha mejorado el análisis costo beneficio las decisiones en Colombia? Evidencias del Proceso de Licenciamiento Ambiental. *Ecological Economics*, 178, 106807. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106807>

Yue, S., Zhang, T., Wang, S., Han, D., Huang, S., Xiao, M., & Meng, Y. (2024). Progreso reciente de los materiales de empaquetamiento de polímeros biodegradables: la

nanotecnología mejora el rendimiento de la barrera de oxígeno y vapor de agua.

*Nanomaterials*, 14(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/nano14040338>

