



Estudios

# PREFACTIBILIDAD PARA UN PROYECTO DE GESTIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL EL DORADO



Implementado por  
**giz**



## **Prefactibilidad para un proyecto de gestión de residuos orgánicos en el Aeropuerto Internacional El Dorado**

---

### **Apoiado por:**

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH  
Programa de GIZ Colombia

Programa Empleos Verdes en la Economía Circular (PREVEC)

Sarah Hirsch, Coordinadora PREVEC

Calle 125 No.19-24, oficina 701,  
Bogotá, Colombia

### **Autores:**

Vishwas Vidyaranya, Juan Carlos Burgos,  
Alejandra Garay Beltrán

### **Revisores externos:**

Alejandro Sanabria, Carlos Orozco,  
Fabiola Moreno

### **Cita sugerida:**

Vidyaranya, V., Burgos J. & Garay Betrán, A. (2022). *Prefactibilidad para un proyecto de gestión de residuos orgánicos en el Aeropuerto Internacional El Dorado*. GIZ Colombia & Ambire Global. Bogotá, Colombia.

### **Diseño y diagramación**

**.Puntoaparte**  
Editores

### **.PUNTOAPARTE EDITORES**

[www.puntoaparte.com.co](http://www.puntoaparte.com.co)

**Dirección editorial**  
Andrés Barragán

**Revisión editorial**  
Juan Mikán  
Andrés Hernández  
Jimena Martínez Argüeyo

**Dirección de arte**  
Jeisson Reyes

**Diseño y diagramación**  
Jeisson Reyes  
Luisa Monroy

### **Por encargo del**

Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania. Esta publicación ha sido apoyada por el Programa Empleos Verdes en la Economía Circular (PREVEC) que está implementado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH y sus contrapartes colombianas, por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania.

Las ideas vertidas en el texto son responsabilidad exclusiva de los autores y no comprometen la línea institucional de la GIZ.

Se autoriza la reproducción total del presente documento, sin fines comerciales, citando adecuadamente la fuente.



# ÍNDICE

Abreviaturas ..... 6

## 1. Introducción

Pág. 7



© AntoGessa/shutterstock.com

## 2. Información del proyecto

Pág. 9

<b>2.1</b>	Disposición de residuos .....	11
<b>2.2</b>	Energía eléctrica .....	12
<b>2.3</b>	Espacio disponible .....	13
<b>2.4</b>	Gestión de residuos .....	14
<b>2.5</b>	Análisis de generación de residuos orgánicos .....	15
<b>2.6</b>	Manejo de residuos orgánicos .....	16
<b>2.7</b>	Proyección de pasajeros .....	18

## 3. Tecnologías de tratamiento de residuos orgánicos

Pág. 19

<b>3.1</b>	Tratamientos biológicos .....	21
<b>3.2</b>	Tratamientos termoquímicos .....	21
<b>3.3</b>	Selección de la tecnología .....	22

## 4. Modelo financiero

Pág. 25

<b>4.1</b>	Parámetros operativos .....	26
<b>4.2</b>	Supuestos .....	27
<b>4.3</b>	Escenarios .....	28
<b>4.4</b>	Ingresos y costos .....	29
<b>4.5</b>	Indicadores económicos para los escenarios elegidos .....	31
<b>4.6</b>	Análisis de sensibilidad .....	32



## 5. Sostenibilidad

---

Pág. 34

<b>5.1</b>	Diseño de la encuesta .....	35
<b>5.2</b>	Análisis de encuestas .....	36
<b>5.3</b>	Análisis de resultados .....	39

## 6. Conclusiones

---

Pág. 39

<b>Bibliografía</b> .....	38
---------------------------	----

## Anexos

---

Pág. 43

<b>Anexo 1.</b>	Datos del proyecto .....	43
<b>Anexo 2.</b>	Gestión de residuos .....	44
<b>Anexo 3.</b>	Escenarios de modelos financieros .....	45
<b>Anexo 4.</b>	Resultados encuesta sostenibilidad .....	45



© BillionPhotos/shutterstock.com



# LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Datos de tenedores de espacio .....	10	<b>Tabla 12.</b> Tarifa de electricidad, precios de venta digestato y costo manejo de residuos .....	27
<b>Tabla 2.</b> Generación de residuos orgánicos y costo mensual de su manejo .....	11	<b>Tabla 13.</b> Variables tecnológicas .....	28
<b>Tabla 3.</b> Análisis de generación de aceite vegetal .....	11	<b>Tabla 14.</b> Escenarios desarrollados en el modelo económico .....	28
<b>Tabla 4.</b> Consumo y costos de energía eléctrica .....	12	<b>Tabla 15.</b> Valor de la inversión, operación e ingresos del sistema .....	29
<b>Tabla 5.</b> Distribución de generación de residuos por tipo de generador .....	15	<b>Tabla 16.</b> Indicadores económicos para los escenarios escogidos .....	31
<b>Tabla 6.</b> Centros de almacenamiento de residuos orgánicos .....	17	<b>Tabla 17.</b> Análisis de sensibilidad variando el costo de los residuos .....	32
<b>Tabla 7.</b> Costos asociados a la gestión de residuos .....	17	<b>Tabla 18.</b> Análisis de sensibilidad variando porcentaje de financiamiento .....	32
<b>Tabla 8.</b> Comparación de las tecnologías .....	21	<b>Tabla 19.</b> Cantidad y costo de residuos en 2019 .....	43
<b>Tabla 9.</b> Comparación de tecnologías con la estrategia "Matriz de decisión" .....	22	<b>Tabla 20.</b> Consumo de energía y costo asociado .....	43
<b>Tabla 10.</b> Parámetros operativos del biodigestor .....	26	<b>Tabla 21.</b> Código de colores .....	44
<b>Tabla 11.</b> Variables económicas .....	27	<b>Tabla 22.</b> Escenarios creados para el modelo económico .....	45

# LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Variación del consumo de energía eléctrica (de 7 meses) .....	12	<b>Figura 10.</b> Ingresos esperados durante el proyecto .....	29
<b>Figura 2.</b> Plano general del aeropuerto y el espacio disponible para el proyecto .....	13	<b>Figura 11.</b> Costos esperados durante el proyecto .....	30
<b>Figura 3.</b> Área disponible para la instalación del sistema de tratamiento .....	13	<b>Figura 12.</b> Resumen de ingresos, gastos y utilidad del proyecto .....	30
<b>Figura 4.</b> Proceso de gestión de residuos .....	14	<b>Figura 13.</b> Posible configuración del financiamiento de la tecnología .....	33
<b>Figura 5.</b> Fracción de generación de residuos orgánicos por tipo de generador .....	15	<b>Figura 14.</b> Impacto ambiental del biodigestor según las encuestas .....	36
<b>Figura 6.</b> Almacenamiento de residuos orgánicos .....	16	<b>Figura 15.</b> Impacto social del biodigestor según las encuestas .....	36
<b>Figura 7.</b> Proyección de pasajeros y residuos en el Aeropuerto Internacional El Dorado .....	18	<b>Figura 16.</b> Impacto económico del biodigestor según las encuestas .....	37
<b>Figura 8.</b> Tecnologías y tratamientos de residuos orgánicos .....	20	<b>Figura 17.</b> Resultados encuesta impacto ambiental .....	45
<b>Figura 9.</b> Diagrama del proceso de la evaluación financiera .....	26	<b>Figura 18.</b> Resultado encuesta impacto social .....	45
		<b>Figura 19.</b> Resultado encuesta impacto económico .....	46



# ABREVIATURAS

<b>CAPEX</b>	Gastos de capital (por sus siglas en inglés)	<b>IPC</b>	Índice precios al consumo
<b>CATR</b>	Centros de almacenamiento temporal de residuos	<b>OPEX</b>	Gastos operacionales (por sus siglas en inglés)
<b>CO<sub>2</sub>e</b>	Dióxido de carbono equivalente	<b>PTAR</b>	Planta de tratamiento de aguas residuales
<b>COP</b>	Peso colombiano	<b>RAS</b>	Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico
<b>DTF</b>	Depósito a término fijo	<b>RO</b>	Residuos orgánicos
<b>ECA</b>	Estación de clasificación y aprovechamiento	<b>t/d</b>	Toneladas por día
<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero	<b>SMMLV</b>	Salario mínimo mensual legal vigente
<b>GIZ</b>	Cooperación Alemana para el Desarrollo (por sus siglas en alemán)	<b>TIR</b>	Tasa interna de retorno
<b>kWh</b>	Kilovatio hora	<b>VPN</b>	Valor presente neto

© EGT-1/shutterstock.com





Prefactibilidad para un proyecto de gestión de residuos orgánicos en el Aeropuerto Internacional El Dorado

# INTRODUCCIÓN

# 1.





Con el propósito de apoyar la transición de una economía lineal a una economía circular, definida para Colombia en la Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC) y en el propósito de una integración económicamente sostenible para la población recicladora que recolecta materiales aprovechables en el país, el Ministerio Federal Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ, por sus siglas en alemán), a través de la Cooperación Alemana para el Desarrollo (GIZ, por sus siglas en alemán), instauró el Programa empleos verdes en la economía circular (PREVEC) en octubre de 2019.

Para cumplir con los objetivos estipulados en el programa de PREVEC, la GIZ contrató el servicio de consultoría de Ambire Global para asesorar a la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP), una unidad encargada de garantizar la prestación de los servicios públicos de aseo en Bogotá. El proyecto incluye la **entrega de este documento de prefactibilidad técnica y económica** para una estrategia de gestión de residuos orgánicos, de hasta 6 toneladas por día (t/d), en un punto específico de la ciudad de Bogotá.

La experiencia de Ambire Global en el diseño, implementación y operación de sistemas sostenibles para la gestión de residuos, incluidos el compostaje, la digestión anaeróbica, rellenos sanitarios, las estaciones de clasificación y aprovechamiento (ECA), entre otros, es fundamental para la ejecución de este proyecto.

El punto elegido en la ciudad de Bogotá fue el **Aeropuerto Internacional El Dorado Luis Carlos Galán Sarmiento**, previamente seleccionado en conjunto entre la GIZ, UAESP y Ambire Global.

El aeropuerto, ubicado entre las localidades de Engativá y Fontibón, cuenta con un sistema de gestión integral para el aprovechamiento del 100 % de sus residuos sólidos. La generación mensual de residuos orgánicos es de 128 toneladas en promedio, las cuales son enviadas a diferentes empresas encargadas de su aprovechamiento para la producción de compost.

El desarrollo de este documento empieza con la información suministrada por el Aeropuerto Internacional El Dorado sobre la generación de residuos orgánicos. Seguido, aparece un estudio de las posibles tecnologías a implementar en el proyecto, con base en las investigaciones internacionales y la bibliografía local recibida por la GIZ. Posteriormente, se proponen los modelos financieros y se hace un análisis de diferentes escenarios de inversión y de sensibilidad para diferentes parámetros. El documento finaliza con un análisis de sostenibilidad a partir de una encuesta realizada al personal del aeropuerto sobre la importancia de los beneficios de la implementación de la tecnología.







Prefactibilidad para un proyecto de gestión de residuos orgánicos en el Aeropuerto Internacional El Dorado

# INFORMACIÓN DEL PROYECTO

# 2.



© Daniel Hernández.



En este capítulo se identifica y analiza la información suministrada por el Aeropuerto Internacional El Dorado para entender los principales aspectos relacionados con la generación de residuos, el área del proyecto, la población atendida, las necesidades y los recursos necesarios.

La recolección de la información se realizó por medio de un formulario compuesto por preguntas relacionadas con la gestión de residuos y los costos asociados. Algunos ejemplos de la información reunida son:

- ✦ Estrategias y metas de sostenibilidad y gestión de residuos.
- ✦ Procesos e infraestructura disponible para el manejo de residuos.
- ✦ Cantidad de residuos sólidos generados.
- ✦ Características de residuos sólidos.
- ✦ Composición de residuos orgánicos.
- ✦ Costo de disposición de residuos sólidos.
- ✦ Información sobre el tratamiento y disposición final.
- ✦ Datos sobre el consumo de energía, gas, compost, agua, entre otros.

De igual manera, se realizó una evaluación preliminar de los datos suministrados y se planeó una visita de campo para revisar la información relevante para el proyecto.

En la Tabla 1, se pueden ver los datos de los tenedores de espacio (el espacio de un tercero destinado para el desarrollo del objeto social) junto con los tamaños de las compañías (determinados por la cantidad de ingresos mensuales) según las ventas que generan.

**Tabla 1.** Datos de tenedores de espacio

Tamaño	Cantidad
Grande	2
Mediana	50
Pequeña	24

 **Fuente:** Aeropuerto Internacional El Dorado


## 2.1 DISPOSICIÓN DE RESIDUOS

Para el análisis del presente documento, se tomó como año base el 2019, ya que, de acuerdo con los datos del aeropuerto, para el 2022 no se había llegado a una reactivación completa del aeropuerto después de la pandemia de COVID-19. Así, los datos más acertados para el análisis son los del año 2019.

De acuerdo con la información recibida por el Aeropuerto Internacional El Dorado, para el 2019, se generaron un total de 1538 toneladas de residuos orgánicos. Es importante resaltar que se tuvo en cuenta la información del 2019 por

ser este un año con una operación normal, en comparación con los siguientes años de la pandemia y el reinicio de la operación normal. Para mayor detalle, estos datos aparecen completos en el Anexo 1.

La Tabla 2 resume la cantidad mínima, promedio y máxima de generación de residuos orgánicos, así como el precio por la gestión de esta cantidad de residuos durante los 12 meses del año 2019. El precio por la gestión de residuos contempla los costos de recolección en el aeropuerto, el transporte y la disposición final en el punto de tratamiento.

 [teatian/shutterstock.com](https://www.shutterstock.com/teatian)





**Tabla 2.** Generación de residuos orgánicos y costo mensual de su manejo

	Cantidad (kg/mes)	Costo (COP/kWh)	Costo ( COP/mes)
Mínimo	107 177	230 COP	24 650 756 COP
Promedio	128 210	230 COP	29 488 212 COP
Máximo	168 624	230 COP	38 783 451 COP

**Fuente:** Aeropuerto Internacional El Dorado

De igual manera, para el presente análisis, se consideraron los residuos de aceite vegetal usados por los restaurantes, los cafés y las pequeñas

tiendas del aeropuerto. La Tabla 3 muestra la cantidad mínima, promedio y máxima de generación de aceite usado en el año 2019.

**Tabla 3.** Análisis de generación de aceite vegetal

	Cantidad (kg/mes)
Mínimo	709
Promedio	1899
Máximo	3398

**Fuente:** Aeropuerto Internacional El Dorado



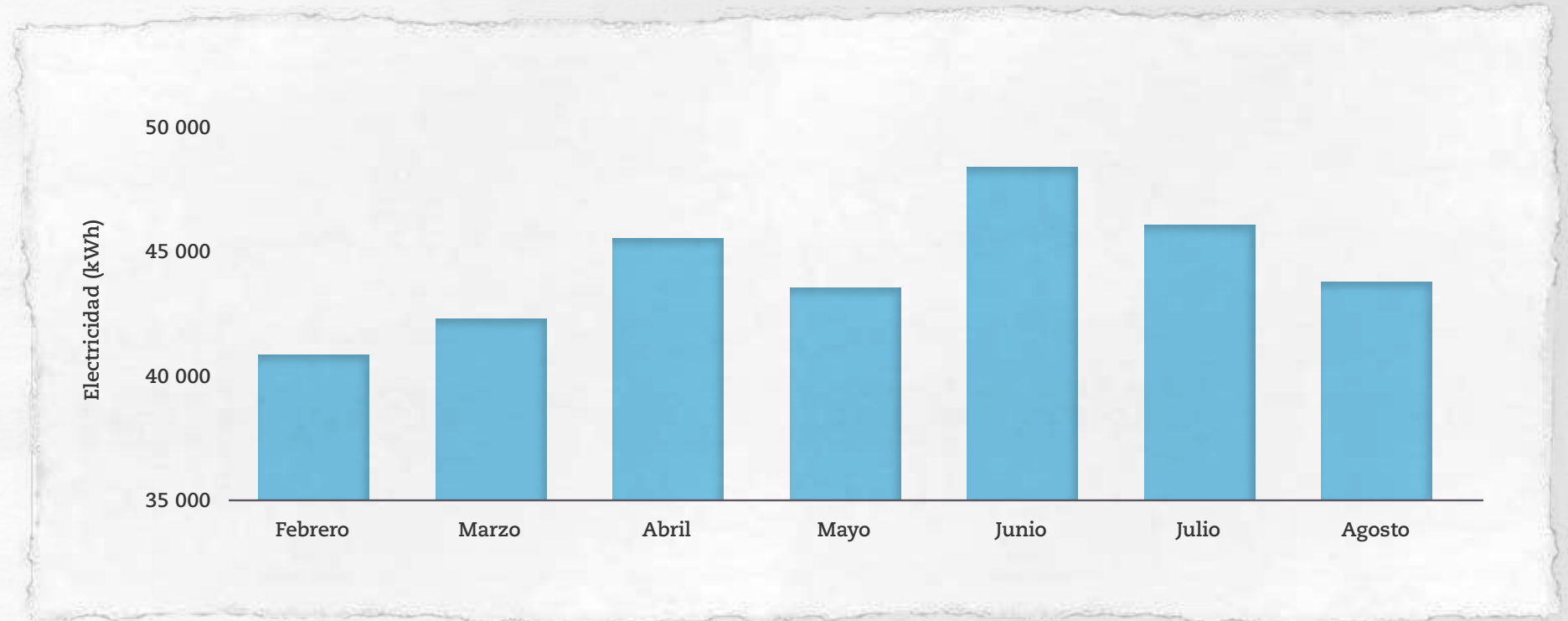


## 2.2 ENERGÍA ELÉCTRICA

Para el análisis de uso y costos de electricidad, se tomaron en cuenta los datos del año 2022 para calcular el valor actual del costo de energía. De acuerdo con esto y los datos suministrados por el aeropuerto, se consumió en promedio 43 863 kWh/mes y con un costo aproximado de 699 COP/kWh. Este costo incluye el valor por pérdidas y la contribución que deben realizar de acuerdo con la Resolución 079 de 1997 de la CREG. Para el estudio, se logró recolectar la información de 7 meses del 2022, tal y como se registró en la Figura 1.

En la Tabla 4, se muestra el resumen del comportamiento del consumo y costos aproximados de la energía que se utilizó en el aeropuerto, durante el periodo de febrero de 2022 a agosto de 2022.

Figura 1. Variación del consumo de energía eléctrica (de 7 meses)



Fuente: Aeropuerto Internacional El Dorado

Tabla 4. Consumo y costos de energía eléctrica

	Consumo (kWh)	Costo (COP/kWh)	Total (COP/kWh)
Mínimo	40 660	659 COP	26 812 020 COP
Promedio	43 863	699 COP	30 650 612 COP
Máximo	47 880	748 COP	35 808 491 COP

Fuente: Aeropuerto Internacional El Dorado

## 2.3 ESPACIO DISPONIBLE

De acuerdo con la visita de campo, se encontró que el área disponible para realizar el proyecto está en el costado occidental del aeropuerto. En el lado derecho de la Figura 2, se puede ver la distribución de las instalaciones del Aeropuerto Internacional El Dorado, y en el otro costado (el izquierdo) se observa el espacio disponible designado para el desarrollo del proyecto (delimitado por un recuadro rojo). Este espacio queda al lado de las instalaciones de la Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y de la Estación de clasificación y aprovechamiento (ECA).

En la Figura 3, se observa en detalle el área en la que se llevará a cabo el proyecto. El espacio disponible designado por el Aeropuerto Internacional El Dorado cuenta con un área aproximada de 500 m<sup>2</sup>.

Como se mencionó anteriormente, este espacio queda al lado de la ECA, donde el personal del aeropuerto lleva todos los residuos generados en las instalaciones y hace su separación para su posterior aprovechamiento. La clasificación de los residuos se ejecuta en un lugar idóneo para el desarrollo del proyecto, debido a su facilidad para el transporte y manejo de los residuos.

Figura 2. Plano general del aeropuerto y el espacio disponible para el proyecto



Fuente: Aeropuerto Internacional El Dorado

Figura 3. Área disponible para la instalación del sistema de tratamiento



Fuente: Aeropuerto Internacional El Dorado

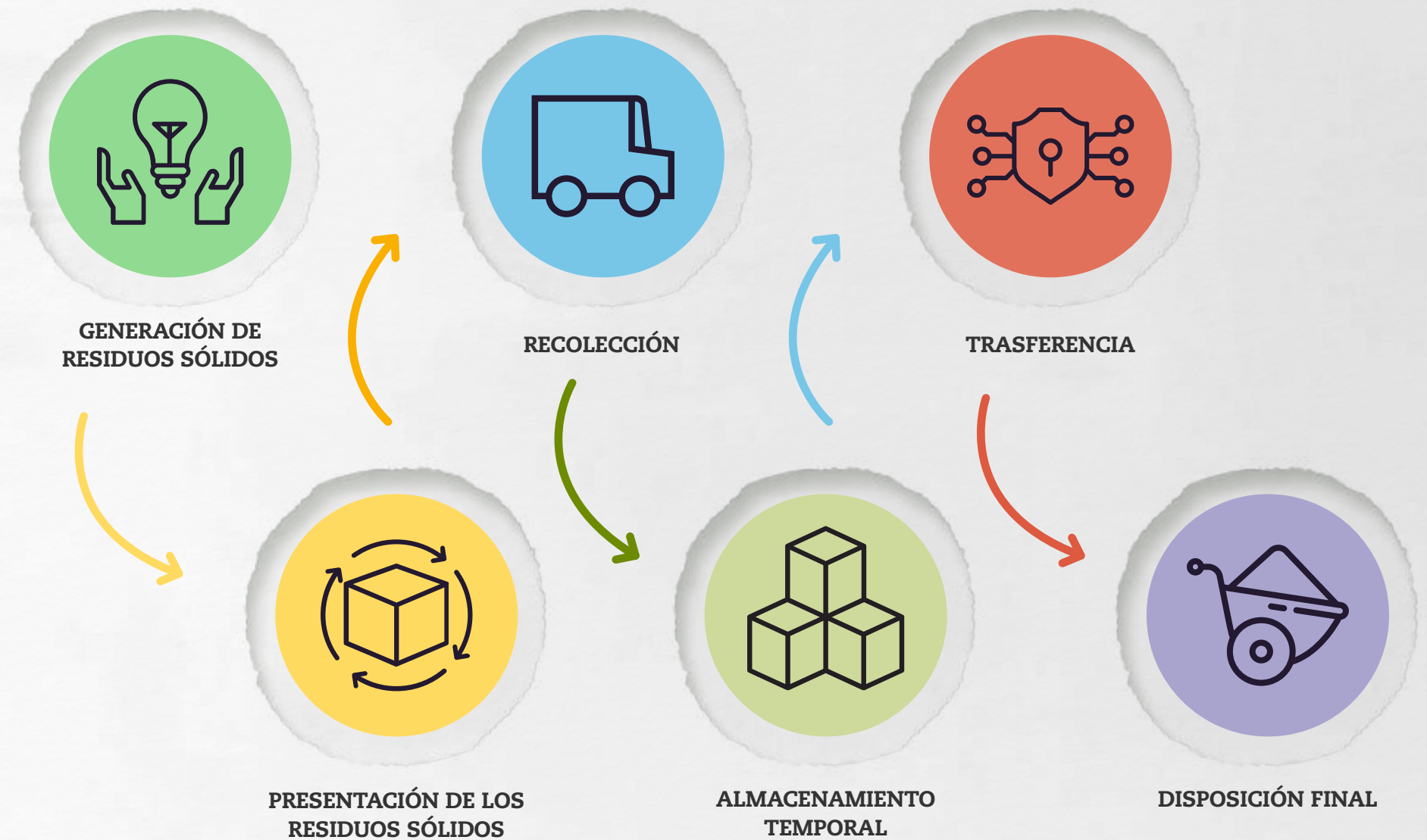


## 2.4 GESTIÓN DE RESIDUOS

Según el Plan de gestión integral de residuos sólidos diseñado por OPAIN S.A. (el concesionario encargado de la administración del aeropuerto), bajo la Guía Técnica Colombiana 24 (GTC 24) del ICONTEC, el Aeropuerto Internacional El Dorado cuenta con un código de separación de residuos sólidos de 11 colores. El objetivo es orientar una mejor separación desde la fuente (como se ve en la Tabla 21 del Anexo 2 de Gestión de residuos).

Por otro lado, cuenta con ocho Centros de Almacenamiento Temporal de Residuos (CATR). En estos lugares se depositan los residuos recolectados en los tenedores de espacio y puntos ecológicos, para después ser transportados al ECA. El proceso de gestión de los residuos sólidos en el Aeropuerto Internacional El Dorado, resumido en la Figura 4, cuenta con 6 pasos principales.

Figura 4. Proceso de gestión de residuos



■ Fuente: Aeropuerto Internacional El Dorado



## 2.5

# ANÁLISIS DE GENERACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS

De acuerdo con los datos suministrados por el aeropuerto, en la Tabla 5, se especifica el número de puntos de comedores, bodegas, cafés y restaurantes que actualmente están en las instalaciones. Estos son los principales generadores de residuos orgánicos.

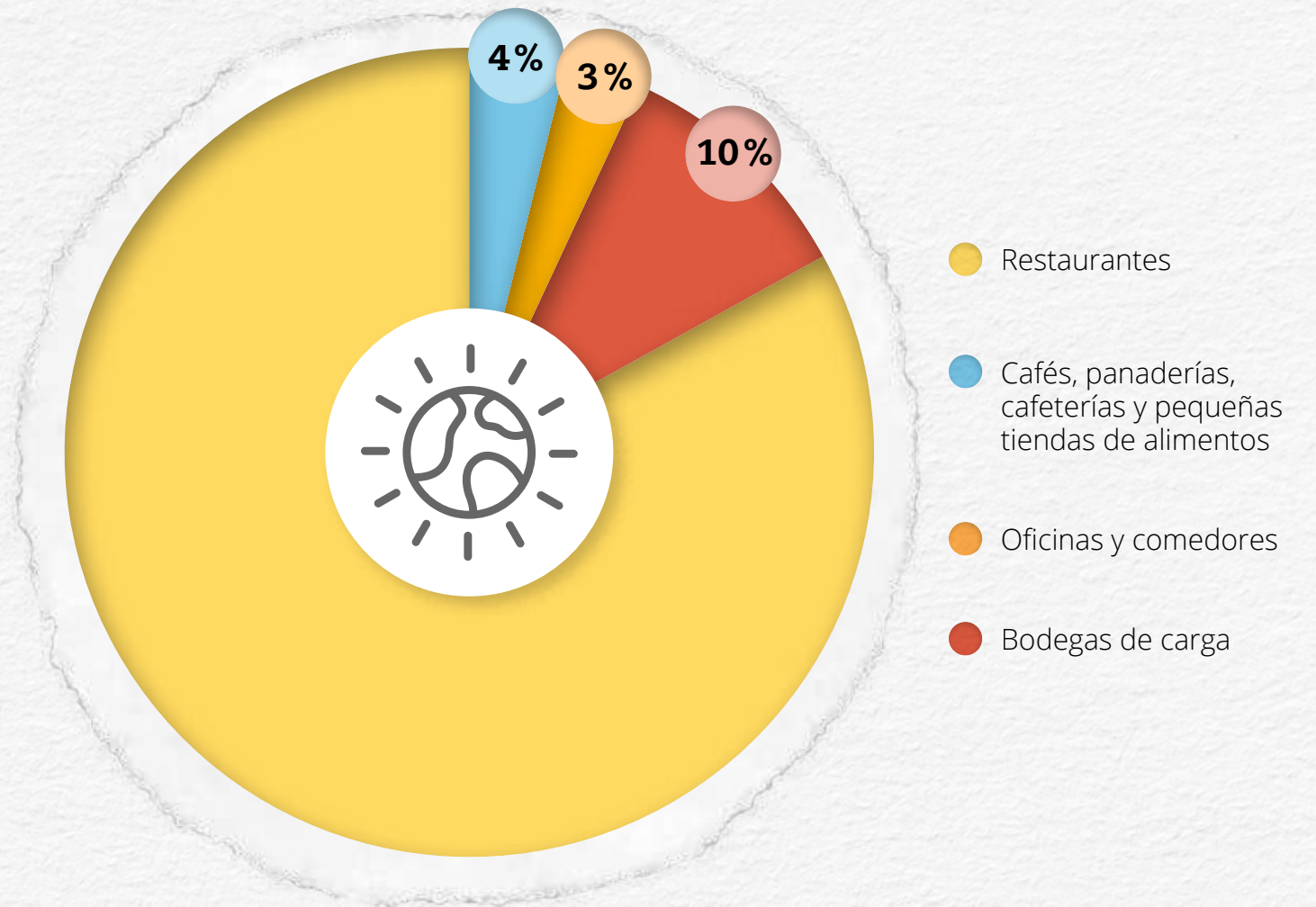
De acuerdo con la Tabla 5 y la información de generación de residuos orgánicos, se calcula la fracción de generación de residuos por cada tipo de generador. Esto se puede ver en la Figura 5.

**Tabla 5.** Distribución de generación de residuos por tipo de generador

Tipo de generador	Cantidad de generadores
Oficinas y comedores	24
Bodegas de carga	12
Cafés, panaderías, cafeterías y pequeñas tiendas de alimentos	36
Restaurantes	48

**Fuente:** Aeropuerto Internacional El Dorado

**Figura 5.** Fracción de generación de residuos orgánicos por tipo de generador



**Fuente:** Aeropuerto Internacional El Dorado

Como se observa en la Figura 5, los mayores generadores de residuos son los restaurantes, con 83 % del total de los residuos, y le siguen los cafés y pequeñas tiendas, con un 10 %. Entre

los menores generadores están las oficinas y los comedores además de las bodegas de carga, con 4 % y 3 %, respectivamente.

## 2.6

# MANEJO DE RESIDUOS ORGÁNICOS

Los residuos orgánicos son almacenados en canecas plásticas de 5 galones con tapas de color beige, el color acorde al código establecido para estos residuos, como se ve en la Figura 6. De acuerdo con la generación de cada estableci-

miento, la empresa gestora de residuos orgánicos entrega un número específico de canecas y, luego, son recogidas de acuerdo con las diferentes rutas sanitarias establecidas para el proceso de pesaje y el manifiesto de sus características.

Figura 6. Almacenamiento de residuos orgánicos



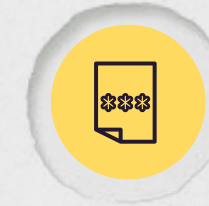
El manifiesto de cada establecimiento mencionado anteriormente está compuesto por la siguiente información:



Datos del gestor.



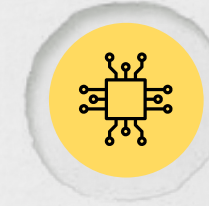
Número de matrícula.



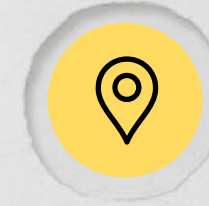
Cantidad.



Datos de quien recibe.



Datos del generador.



Dirección del local.



Destino final.



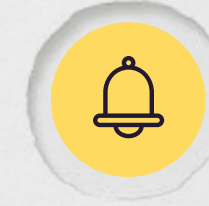
Estado del residuo.



Fecha.



Tipos de residuos.



Observaciones.



Datos de quien entrega.





Esta información es fundamental para realizar una adecuada gestión de los residuos orgánicos en el aeropuerto. Además, los datos del manifiesto son claves para la captura, análisis y control de los datos de generación, destino y manipulación de los residuos.

Posterior a la recolección, los residuos orgánicos se ubican sobre estibas contenedoras en alguno de los 8 CATR del aeropuerto, distribuidos tal y como se ve en la Tabla 6. De los CATR, los residuos se llevan a la ECA y, finalmente, se entregan a las empresas de tratamiento de residuos.


**Tabla 6.** Centros de almacenamiento de residuos orgánicos

Centro de almacenamiento	Ubicación
<b>CATR T1 A</b>	Muelle nacional, parqueadero suministros
<b>CATR T1 B</b>	Muelle internacional, plataforma posición 11
<b>CATR T1 C</b>	Ampliación norte
<b>CATR T1 D</b>	Ampliación sur
<b>CATR TC A</b>	Terminal de Carga 2, lado tierra
<b>CATR TC B</b>	Terminal de Carga 3, lado tierra
<b>CATR TC C</b>	CISA, frente puerta 15
<b>CATR T2</b>	Terminal 2, Puente Aéreo

 **Fuente:** Aeropuerto Internacional El Dorado

En cuanto a los costos asociados a la gestión de residuos orgánicos (descritos en la Tabla 7), se incluyen las actividades de transporte, las condiciones especiales para la recolección de residuos a tenedores de espacio (servicio de recolección puerta a puerta y almacenamiento temporal en CATR y ECA) y la disposición final.

Las facturas por el servicio de gestión de residuos orgánicos son emitidas para pago a mes vencido y su valor está relacionado a la cantidad y tipo de residuo entregado. En la Tabla 7, se detalla el precio que el aeropuerto le cobra a los tenedores de espacio por la gestión de los residuos sólidos.

 l'mfriday/shutterstock.com

**Tabla 7.** Costos asociados a la gestión de residuos

Costos asociados	Precio (COP/kg)
<b>Transporte y disposición final</b>	393 COP
<b>Condiciones especiales para la recolección de residuos a tenedores de espacio</b>	449 COP
<b>Condiciones especiales para recolección de residuos a vuelos nacionales</b>	1760 COP
<b>Condiciones especiales para recolección de residuos a vuelos internacionales</b>	1760 COP

 **Fuente:** Aeropuerto Internacional El Dorado





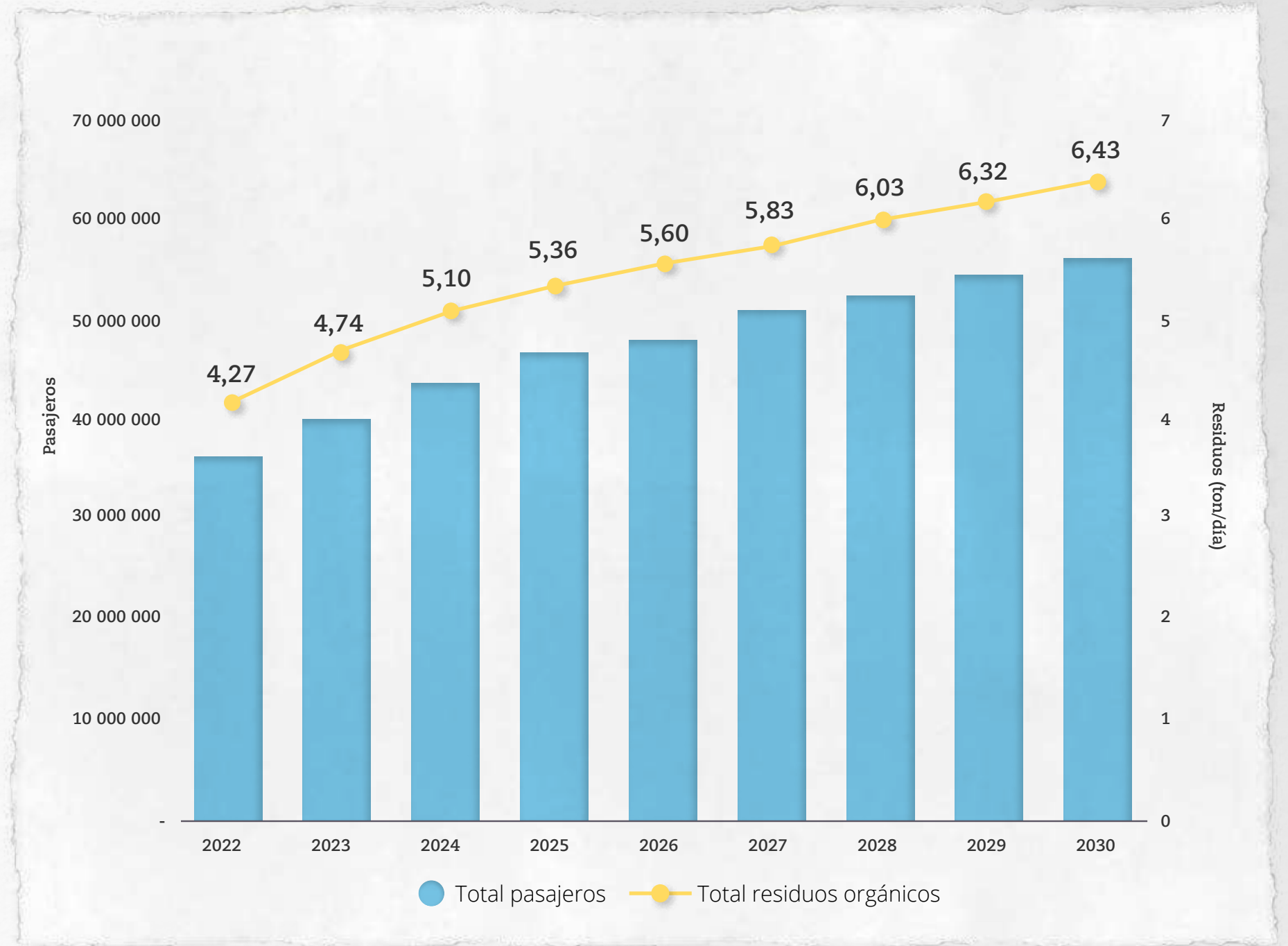
## 2.7

# PROYECCIÓN DE PASAJEROS

Para el diseño de un sistema de tratamiento de residuos orgánicos, es necesario proyectar cómo va a ser su uso. Por tal motivo, en esta sección se realiza una contextualización y proyección del comportamiento de los residuos sólidos generados en el aeropuerto para el periodo comprendido entre 2022 y 2030. Esta proyección de residuos, graficada en la Figura 7, se basó en el número de pasajeros que el Aeropuerto Internacional El Dorado tiene pronosticado para este periodo y en los cálculos que se realizaron a partir de estos datos.

Como se ve en la Figura 7, los datos registran una dinámica creciente con el tiempo. Actualmente, el flujo anual promedio de pasajeros en el aeropuerto es de 36 431 000. Para el año 2026 se proyectan 48 904 000 pasajeros, y para el año 2030 serán 56 341 000. De igual manera, la cifra actual para los residuos está en 4,3 t/d, para el año 2026 en 5,6 t/d y para el 2030 en 6,4 t/d. Por otro lado, el crecimiento promedio de pasajeros es de 5,2 % a lo largo del período analizado. Sin embargo, esta tasa de crecimiento disminuye a lo largo del tiempo: es de 10,9 % en 2023, 4,6 % en 2026 y 3,2 % en 2030.

Figura 7. Proyección de pasajeros y residuos en el Aeropuerto Internacional El Dorado



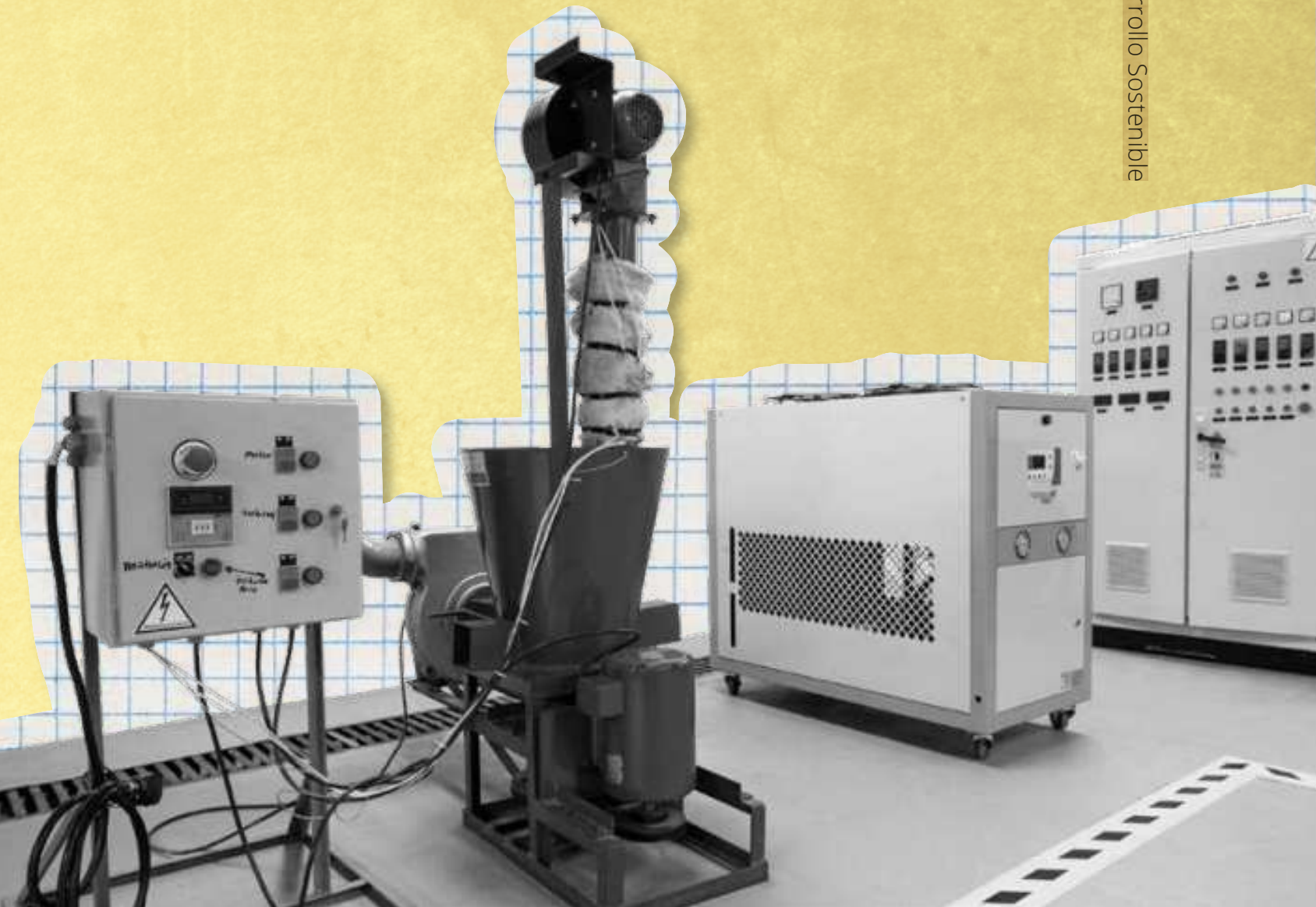
Fuente: Aeropuerto Internacional El Dorado



Prefactibilidad para un proyecto de gestión de residuos orgánicos en el Aeropuerto Internacional El Dorado

# TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS

# 3.





Las tecnologías de tratamiento de residuos orgánicos convierten estos elementos en nuevos productos potenciales. Su uso beneficia el aumento de la vida útil de los rellenos sanitarios, la reducción de las emisiones de GEI y la generación de energías renovables (GOPA Infra GmbH, 2022).

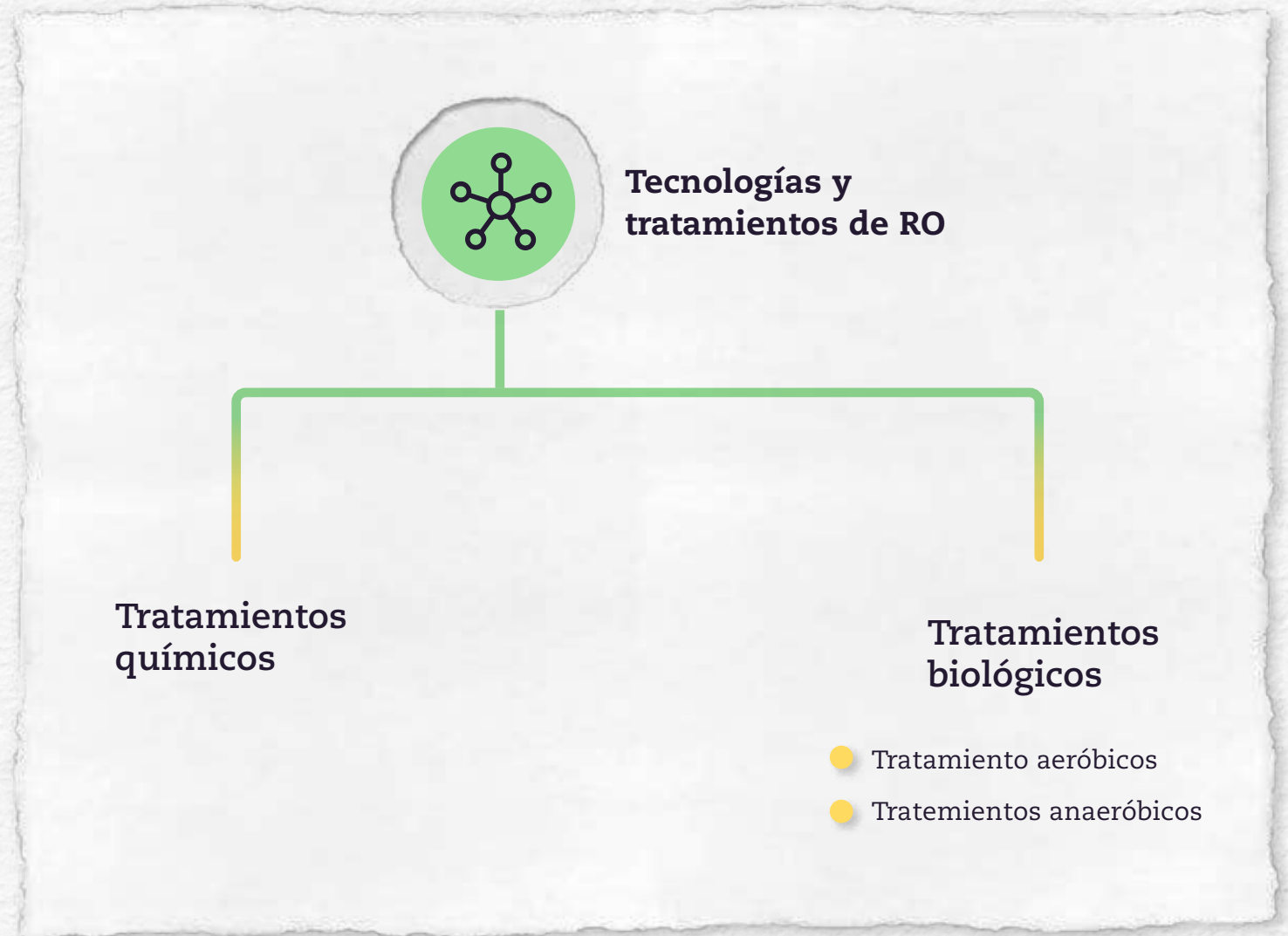
Las principales tecnologías de tratamiento de residuos orgánicos están clasificadas en tratamientos biológicos (compuestas por los tratamientos aerobios y la digestión anaeróbica) y los tratamientos termoquímicos como la pirólisis y gasificación (GAIA, 2017).

En estas tecnologías de tratamiento de residuos, hay una oportunidad para la valorización de los residuos orgánicos a partir de la producción de energía, combustibles y compost.

© M-Production/shutterstock.com



Figura 8. Tecnologías y tratamientos de residuos orgánicos




© Fuente: Ambire global




## 3.1 TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

Los tratamientos biológicos se basan en el aprovechamiento de grandes volúmenes de residuos orgánicos. Para el desarrollo de estos procesos, se deben mantener condiciones específicas de aireación, humedad y temperatura.

Las tecnologías más comunes e implementadas para estos procesos son:

 Los **tratamientos aeróbicos** que permiten la operación con diferentes volúmenes de residuos con relación a: la capacidad requerida, el espacio disponible y las condiciones ambientales. Es importante tener en cuenta que este tratamiento se clasifica en varios tipos, pero principalmente se relaciona con sistemas abiertos (pila móvil y pila estática) y sistemas cerrados (dinámicos o estáticos o reactores horizontales, verticales y en túnel). Incluye también el proceso de lombricultura que degrada la materia orgánica con ayuda de lombrices y microorganismos (Biswas *et al.*, 2021).

 Los **tratamientos anaeróbicos** consisten en la descomposición de materia orgánica, como aguas residuales o lodos, por medio de bacterias que, en ausencia de oxígeno, transforman estos residuos en biogás o digestato (UPME, 2018).

## 3.2 TRATAMIENTOS TERMOQUÍMICOS

Los tratamientos termoquímicos son una alternativa para el tratamiento de los residuos sólidos, que se desarrolla en altas temperaturas y se realiza con el fin de tener un aprovechamiento energético de los residuos.

Los tratamientos termoquímicos más comunes son la pirólisis y la gasificación y se diferencian por la presencia de aire, la tem-

peratura y el tipo de operación. El producto final de estos procesos, en estado sólido, es el carbón, en estado líquido, el bioaceite o alquitrán y, en estado gaseoso, los gases de síntesis (Klug, 2012).

En la Tabla 8 está la comparación de las tecnologías y tratamientos de residuos orgánicos en cuanto a sus parámetros más fundamentales.

**Tabla 8.** Comparación de las tecnologías

Crterios / Tecnología	Tratamientos aeróbicos	Digestión anaeróbica	Tratamientos termoquímicos
Tipos de tecnologías	Compostaje	Biodigestor	Pirólisis Gasificación
Generación de empleo	Alto	Medio	Bajo
Tiempo de retención	14 a 70 días	21 a 30 días	Continuo
Emisiones	CO <sub>2</sub> , vapor de agua, lixiviados, CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> S	Material particulado, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , entre otros
Productos	Compost, lombricompost	Biogás, electricidad, biometano, digestato	Bioaceite, biocombustibles, electricidad, syngas (gas de síntesis), carbón activado, entre otros

 **Fuentes:** Biswas *et al.*, (2021), UPME. (2018) y Klug. (2012).



### 3.3

# SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

Para la selección de la tecnología, se sugiere realizar una comparación entre las tecnologías más frecuentes para el aprovechamiento de residuos orgánicos, teniendo en cuenta los parámetros decisivos para su selección. Estos criterios aparecen en la Tabla 9 y están calificados con colores: **verde para el más favorable**, **azul para el nivel intermedio** y **rojo para indicar la variable menos favorable**.

© Watcharapol Amprasert/shutterstock.com



Tabla 9. Comparación de tecnologías con la estrategia “Matriz de decisión”

Tecnología/criterio	Tratamientos aeróbicos	Digestión anaeróbica	Tratamientos termoquímicos
Costos tecnología	Verde	Azul	Rojo
Generación de empleo	Verde	Azul	Rojo
Reciclaje de nutrientes	Verde	Verde	Rojo
Riesgo de olor	Rojo	Verde	Verde
Riesgo de vectores	Rojo	Verde	Verde
Facilidad de operación	Verde	Azul	Rojo
Proveedores locales de tecnología	Verde	Azul	Rojo
Facilidad de operación	Verde	Azul	Rojo
Retorno de inversión para sistemas descentralizadas	Azul	Verde	Rojo
Mercado para los productos generados	Rojo	Verde	Azul

□ Fuente: Ambire global



Para acompañar el proceso de toma de decisión de la tecnología adecuada para las necesidades del sistema, a continuación se enuncian algunas de las ventajas y desventajas tanto de los tratamientos aeróbicos y anaeróbicos como de los tratamientos termoquímicos.

#### Ventajas tratamientos aeróbicos

- ✦ El costo de la tecnología es más económico en comparación con los otros dos métodos de tratamiento.
- ✦ Se requiere más personal para su funcionamiento, lo que genera más empleo.
- ✦ El reúso de nutrientes es mayor.
- ✦ La complejidad de operación es baja.

#### Desventajas tratamientos aeróbicos

- ✦ Puede producir malos olores, si no se hace una buena gestión de los residuos orgánicos.
- ✦ Puede generar vectores, si no se hace una buena gestión de los residuos orgánicos.
- ✦ El mercado para los productos generados es bajo.

#### Ventajas tratamientos anaeróbicos

- ✦ No genera olor ni atrae vectores.
- ✦ Ayuda a reciclar los nutrientes.
- ✦ Se generan productos, como electricidad o gas, que son más rentables que el compost.
- ✦ Ocupa menos espacio comparado con el compost.

#### Desventajas tratamientos anaeróbicos

- ✦ Alta inversión comparada con la necesaria para el tratamiento aeróbico.
- ✦ Se requiere de personal capacitado para operar los sistemas.
- ✦ Hay pocos proveedores en el país.

#### Ventajas tratamientos termoquímicos

- ✦ No genera olor ni vectores.
- ✦ Se requiere menos espacio.
- ✦ Genera productos, como electricidad o gas, más rentables que el compost.

#### Desventajas tratamientos termoquímicos

- ✦ El costo de la tecnología es más elevado en comparación con los otros dos métodos de tratamiento.
- ✦ No genera reúso de nutrientes.
- ✦ Complejidad de operación.
- ✦ Puede producir emisiones durante la combustión.





Con el propósito de cumplir con los objetivos del PREVEC (Proyecto empleos verdes en la economía circular), la Cooperación Alemana para el Desarrollo (GIZ) realizó 3 estudios: “Estudio del mercado de valorización de los residuos sólidos orgánicos de Bogotá”, “Estudio del mercado de valorización de los residuos reciclables en Bogotá” y “Análisis del potencial de valorización de los residuos orgánicos”. Los estudios describen las características técnicas, ambientales, sociales y económicas de Colombia relacionadas con la situación actual del manejo de residuos orgánicos. Este servicio público es el de menor desarrollo del país: sólo 21 municipios de los 1103 del territorio tienen instaladas plantas de tratamiento de residuos orgánicos (GIZ, 2022b).

En el “Análisis del potencial de valorización de los residuos orgánicos” se evalúan dos escenarios con una proyección al año 2040 y en relación con el incremento de los residuos sólidos generados en Bogotá. Los resultados sugieren implementar un modelo de segregación en la fuente (reciclables, vidrio, orgánico y rechazo)

para luego separar y valorar los residuos con un sistema de tratamiento mecánico biológico (TMB). El sistema está compuesto por tecnologías mecánicas y biológicas que incluyen el compostaje y la digestión anaerobia (GIZ, 2022a).

Los estudios concluyen que la implementación de sistemas descentralizados (biodigestores) tienen ventajas ambientales como la reducción de lixiviados que contaminan fuentes hídricas y del uso de vertederos, entre otros. Así mismo, en comparación con el compostaje, esta tecnología no genera malos olores, no atrae vectores y el espacio requerido para el desarrollo de la tecnología es menor. En cuanto al tema financiero, el éxito de esta tecnología dependerá de la inversión inicial, el apalancamiento financiero y la capacidad del sistema (GIZ, 2022c).

Entre los subproductos de este tratamiento está el digestato que es utilizado como fertilizante, enmiendas o acondicionador del suelo. Este material producto de la digestión anaeróbica tiene un mercado liderado por las empresas

privadas, para beneficio propio o de aliados, el sector agrícola, los mercados mayoristas y los mercados minoristas, como el de la jardinería y los viveros. El precio del digestato está entre 50 000 y 400 000 COP por tonelada.

Es importante resaltar que el mercado del digestato está relacionado con la variación de los precios de los fertilizantes químicos que van cambiando según el comportamiento del dólar y el precio del petróleo; es decir, entre más costoso es, el sector agrícola adquiere más productos derivados de los RO. Otro factor a tener en cuenta es que, después de ser analizado y estabilizado según el Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS), el digestato tiene una clasificación de posibilidades de uso (GIZ, 2022aa).

En comparación con el digestato, el mercado del biogás es mínimo al estar solo relacionado con un 1,11 % de la capacidad eléctrica de generación de energía en Colombia. Cabe resaltar que ya hay condiciones legales y técnicas mínimas para iniciar este tipo de proyectos (GIZ, 2022a).

**De acuerdo con los tres estudios y el análisis comparativo de cada tecnología, incluyendo sus ventajas y desventajas para la valorización de los residuos orgánicos, se determinó que la tecnología más adecuada para implementar en el Aeropuerto Internacional El Dorado es el tratamiento anaeróbico. Esto debido a su facilidad de manejo, el área requerida y sus bajos riesgos de olores y vectores; todos parámetros importantes para el desarrollo de este proyecto.**





Prefactibilidad para un proyecto de gestión de residuos orgánicos en el Aeropuerto Internacional El Dorado

# MODELO FINANCIERO

4.



En esta sección se presenta la evaluación financiera del proyecto y se recogen todos los parámetros y variables referentes al proyecto, para luego valorar el modelo financiero y determinar su viabilidad económica. Para el estudio financiero del proyecto, se tendrán en cuenta los gastos, costos y las inversiones para el sistema completo, la mano de obra necesaria, los costos de mantenimiento y una comparación de los diferentes escenarios.

La Figura 9 muestra un esquema del procedimiento del modelo financiero aplicado para este análisis.

**Figura 9.** Diagrama del proceso de la evaluación financiera



**Fuente:** elaboración propia.

## 4.1 PARÁMETROS OPERATIVOS

De acuerdo con el análisis del proyecto, se puede estimar un sistema de tratamiento de residuos orgánicos de 4,5 t/d. Cabe aclarar que pese a que las proyecciones contemplan un crecimiento de 6,4 t/d para el 2030, por motivos operacionales, no es posible sobredimensionar la tecnología. Sin embargo, una de las ventajas de los biodigestores es que se pueden desarrollar por etapas, lo que facilita su implementación. En la Tabla 10 se detallan los parámetros operativos del biodigestor.

**Tabla 10.** Parámetros operativos del biodigestor

Parámetro operativo	Valor
Toneladas de residuos orgánicos procesados por día (t/d)	4,5
Número de días de operación al año (d/a), excluyendo los de mantenimiento o de poca generación de residuos	330
Residuos orgánicos suministrados al año (t/a)	1411
Generación de digestato (t/a)	134
Espacio mínimo requerido (m <sup>2</sup> ), aparte del ECA del aeropuerto	200

**Fuente:** elaboración propia.



## 4.2 SUPUESTOS

Para desarrollar el modelo financiero, se deben incluir los supuestos económicos y tecnológicos. A continuación, se explica en detalle cuáles fueron los valores escogidos y de qué fuentes se obtuvieron.

### Supuestos económicos

Algunos de los supuestos económicos incluyen el promedio del índice de precios al consumo (IPC) para el 2022, los depósitos a término fijo (DTF) o la tasa de interés, los impuestos, el salario mínimo mensual legal vigente (SMMLV) para 2023, la tasa representativa del mercado (TRM), para este caso de octubre a diciembre de 2022, entre otros. Sus valores aparecen en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Variables económicas

Variable	Valor
IPC durante 2022	10,8 %
DTF	11,0 %
Impuestos	35 %
SMMLV para 2023	1 300 606 COP
TRM de 2022	4813 COP

**Fuentes:** (Banco de la República, 2022), (DANE, 2022).

Adicional a estos supuestos económicos, se considera el costo por tarifa de electricidad y de gestión de

**Tabla 12.** Tarifa de electricidad, precios de venta digestato y costo manejo de residuos

Variable	Valor
Tarifa electricidad, consumo (COP/kWh)	699 COP
Tarifa electricidad, venta (COP/kWh)	600 COP
Precio venta del digestato (COP/t)	50 000 COP
Costo gestión de residuos (COP/t)	230 000 COP

**Fuente:** elaboración propia.

Las tarifas de venta y consumo de electricidad fueron obtenidas por medio de la encuesta que completó el aeropuerto y se comprobaron en campo durante la visita realizada a las instalaciones en el segundo semestre de 2022. Los precios de venta de digestato y de electricidad corresponden a los valores estándares del mercado para el año 2022.

residuos, ya que determinan los ingresos y costos del proyecto. En la Tabla 12, se presentan estos valores.

El costo de gestión de residuos surge del valor total que paga el aeropuerto por concepto de recolección, transporte y disposición final para el tratamiento de residuos orgánicos. Fue suministrado para este estudio por parte de los diferentes tenedores de espacio durante el 2022.

### Supuestos tecnológicos

Los supuestos tecnológicos son todos los valores que vienen por defecto con el uso de la tecnología y están discriminados en la Tabla 13. El valor de la generación del digestato resulta del proceso de tratamiento necesario para su comercialización.

**Tabla 13.** Variables tecnológicas

Variable	Valor
Generación de digestato (t digestato/ t RO procesada)	0,1 COP
Consumo de energía (kWh/d)	100 COP

**Fuente:** elaboración propia.



## 4.3 ESCENARIOS

El modelo financiero se desarrolló bajo 11 escenarios. En la Tabla 14, se presenta el resultado de 4 de esos escenarios, los otros se pueden observar en el Anexo 3. Los escenarios se diferencian en cómo varía la deuda para financiar

el proyecto. Adicionalmente, para cada escenario, se realizó un análisis de sensibilidad para estimar cuál es el porcentaje del proyecto que debe ser financiado para que el modelo cierre. Este análisis se presentará más adelante.

**Tabla 14.** Escenarios desarrollados en el modelo económico

Escenario	Deuda	Inversión
<b>A</b>	0 %	100 %
<b>B</b>	100 %	0 %
<b>C</b>	70 %	30 %
<b>D</b>	50 %	50 %

 **Fuente:** elaboración propia.

En los siguientes apartados se muestran en detalle los resultados obtenidos para los escenarios (A, B, C y D) de la Tabla 14.

## 4.4 INGRESOS Y COSTOS

Como los escenarios planteados tienen las mismas características tecnológicas y operaciones, los valores de inversión, operación e ingresos son los mismos. En la Tabla 15, se presentan estos valores en el escenario planteado.

**Tabla 15.** Valor de la inversión, operación e ingresos del sistema

Ítem	Valor
<b>Costo del biodigestor según el proveedor</b>	1 443 900 000 COP
<b>Obra civil</b>	195 000 000 COP
<b>Conexiones de redes eléctricas</b>	205 910 000 COP
<b>CAPEX total sin beneficio tributario</b>	1 844 810 000 COP
<b>CAPEX total con beneficio tributario</b>	1 550 260 504 COP

 **Fuente:** elaboración propia.

Sobre el valor del CAPEX, en Colombia, los proyectos que sean sostenibles y mejoren el medio ambiente reciben incentivos en materia tributaria, conocidos como Beneficios Tributarios Ambienta-

les. Las normativas que cubren este tipo de proyectos son la Ley 1715 de 2014 y el Decreto 2205 de 2017. Para gozar de los beneficios, el proyecto se debe certificar ante el ANLA, la UPME o la CAR.



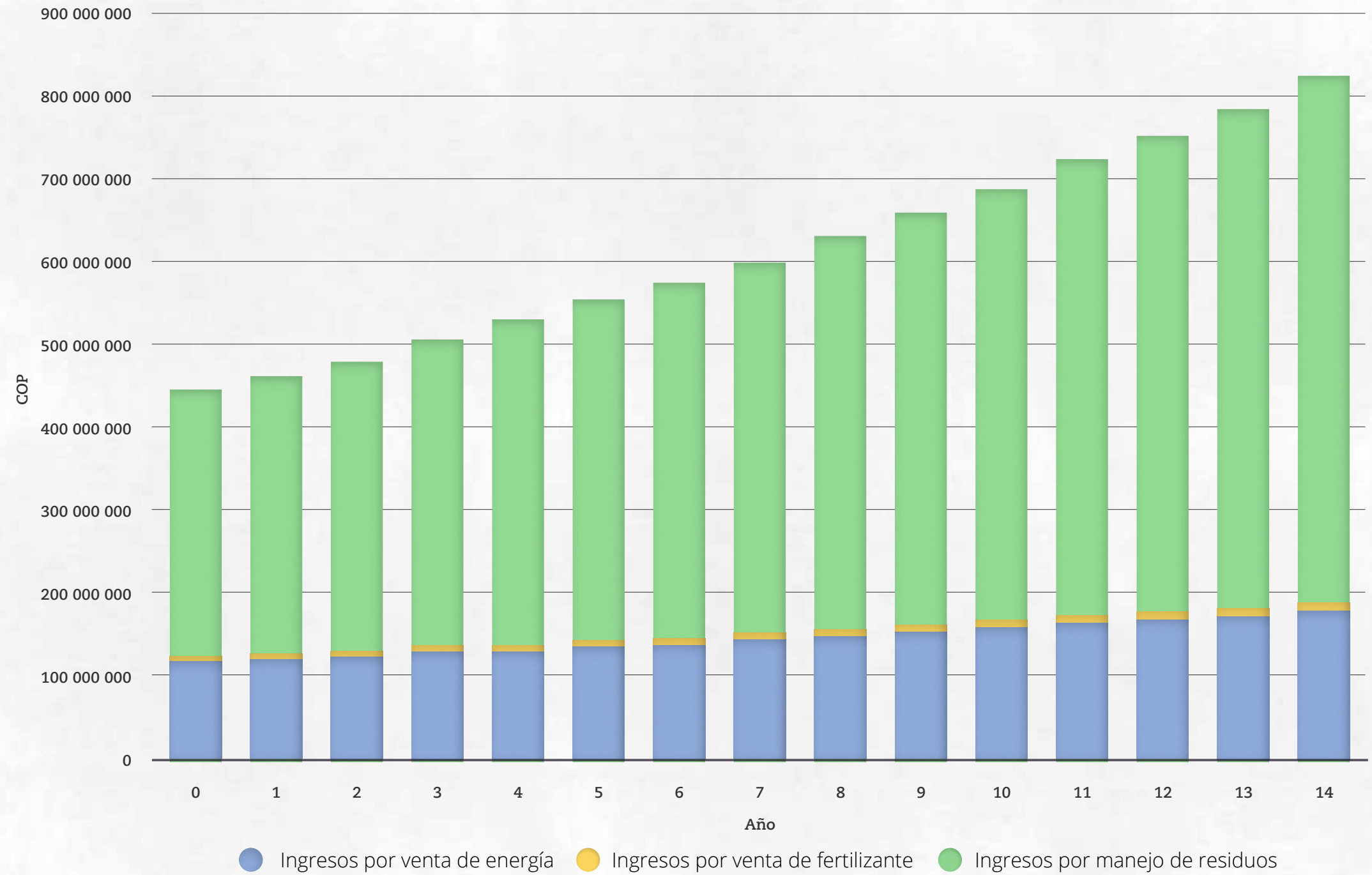
Para calcular los costos del proyecto, se deben tener en cuenta los costos de materiales, de la adecuación del lugar, de importación y de la puesta en marcha del biodigestor en Bogotá; todos determinan el valor total de la inversión inicial.

El total de los ingresos se da principalmente por la venta de energía y por el manejo de residuos orgánicos y, en menor medida, por la venta de digestato, como se muestra en la Figura 10.

FarknotArchitect/shutterstock.com



Figura 10. Ingresos esperados durante el proyecto



Fuente: elaboración propia.

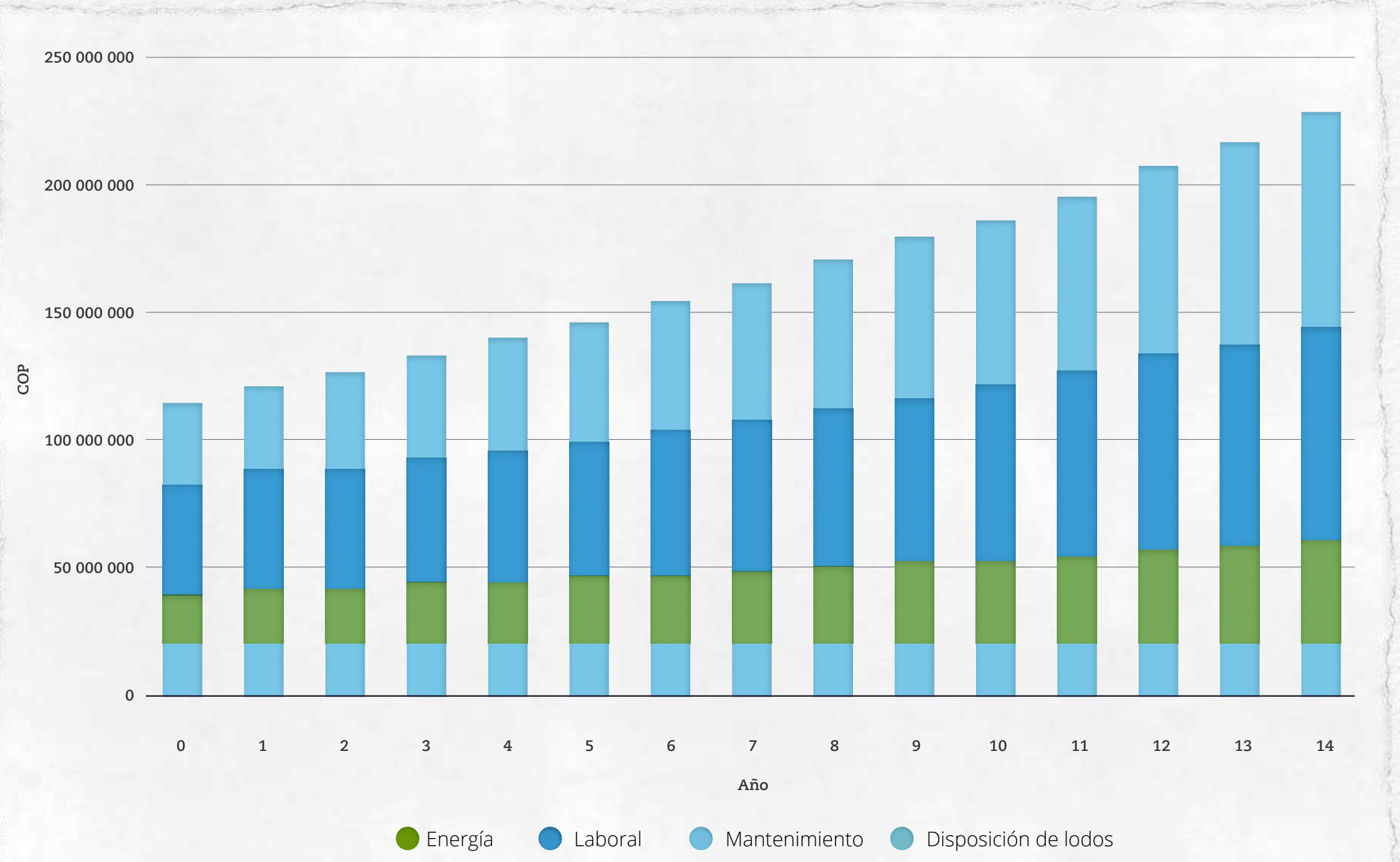


Los costos esperados para la ejecución de los escenarios están relacionados con el consumo de energía, disposición de rechazos en el relleno sanitario y de lodos, costos laborales, recolección y transporte y mantenimiento de los equipos. Todos estos costos se muestran en la Figura 11.

Anterovium/shutterstock.com



Figura 11. Costos esperados durante el proyecto



Fuente: elaboración propia.



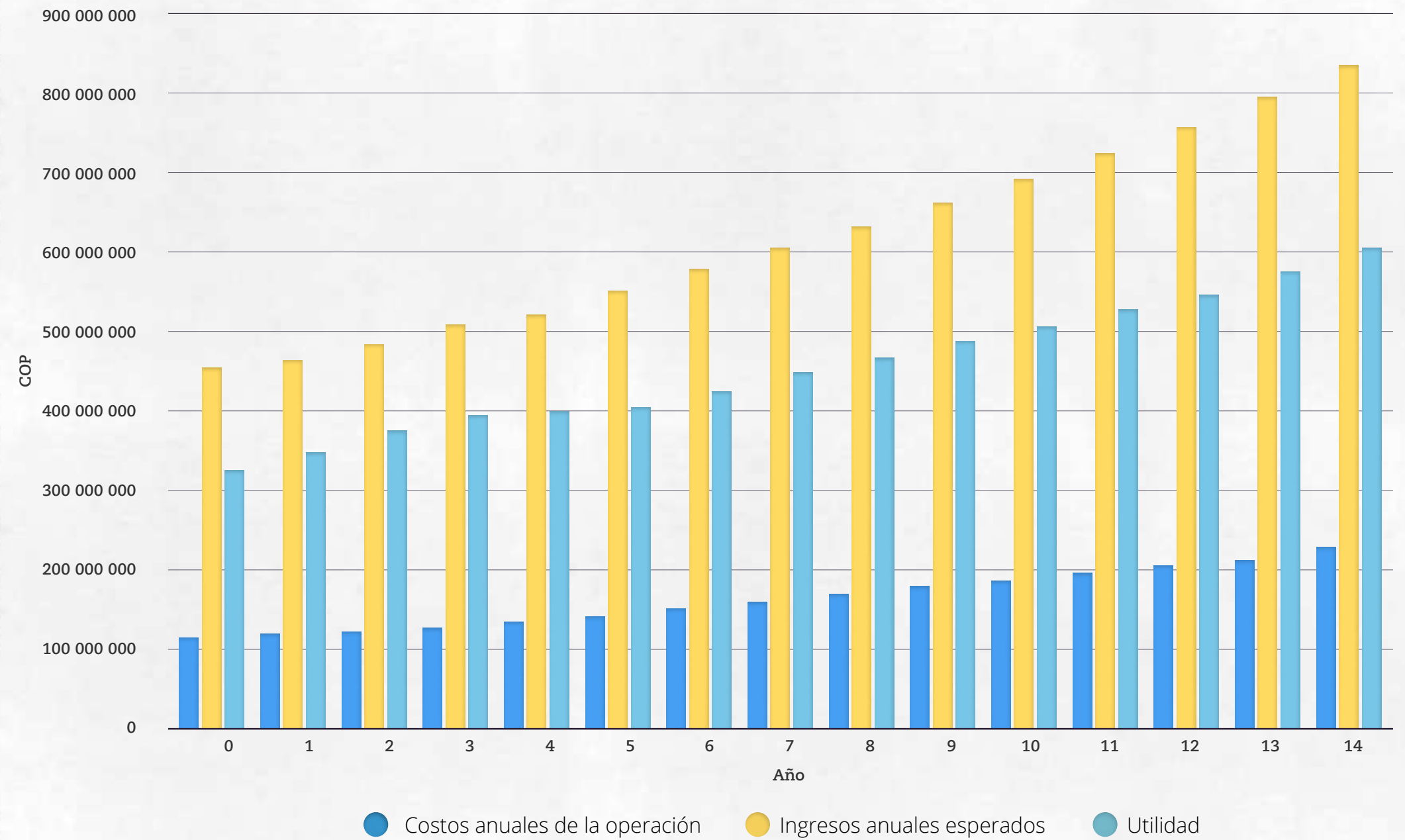
Como se observa en la Figura 11, el mayor costo previsto en la operación del sistema del biodigestor es el del mantenimiento anual, seguido por la electricidad que consume el sistema y por el costo laboral. Se debe tener en cuenta que el costo de disposición de lodos solo se genera cuando no se utiliza el digestato.

A manera de resumen, en la Figura 12, se grafica el compilado de los ingresos, gastos y utilidad a lo largo del proyecto.

NewAfrica/shutterstock.com



**Figura 12.** Resumen de ingresos, gastos y utilidad del proyecto



Fuente: elaboración propia.



# 4.5 INDICADORES ECONÓMICOS PARA LOS ESCENARIOS ELEGIDOS

A partir de los supuestos económicos y técnicos, así como de los ingresos y costos operacionales del proyecto, se pueden calcular los indicadores económicos. Estas estadísticas tienen en cuenta el valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR) del proyecto y la inversión, tal y como se ve en la Tabla 16.

MEEKODONG/shutterstock.com



**Tabla 16.** Indicadores económicos para los escenarios escogidos.

Escenarios	Variable económica	15 años	10 años	7 años
Escenario A	VPN proyecto	483 291 514 COP	75 676 932 COP	-252 823 400 COP
	TIR proyecto	17,54 %	13,24 %	6,21 %
	TIR inversión	17,54 %	13,24 %	6,21 %
Escenario B	VPN proyecto	1 266 960 728 COP	629 484 447 COP	153 173 343 COP
	TIR proyecto	20,71 %	17,34 %	11,49 %
	TIR inversión	-	-	-
Escenario C	VPN proyecto	1 002 097 828 COP	445 623 356 COP	19 870 582 COP
	TIR proyecto	19,74 %	16,10 %	9,93 %
	TIR inversión	29,07 %	23,59 %	17,85 %
Escenario D	VPN proyecto	840 651 364 COP	331 950 111 COP	-63 260 288 COP
	TIR proyecto	19,10 %	15,28 %	8,88 %
	TIR inversión	23,22 %	17,93 %	11,50 %

**Fuente:** elaboración propia.

Al comparar los 4 escenarios seleccionados, el escenario B, que equivale al 100 % del CAPEX a partir de una deuda, es el que cumple con la mayoría de los indicadores económicos. En general, a 15 años, tiene un VPN de 1 266 960 728 COP y la TIR del proyecto positiva y con un 20,7 %.

A corto plazo (aproximadamente a 7 años), los escenarios A y D tienen un VPN negativo, es decir que ambos escenarios no tienen valor según el dinero

de hoy. Adicionalmente, de manera general, ninguno de los proyectos superaría la inflación actual. Lo anterior puede ocurrir por 2 razones. En primer lugar: el costo del manejo de los residuos no es lo suficientemente alto para que alcance a cubrir parte de la inversión de la tecnología. Segundo: las variables económicas, como el valor del dólar, la inflación actual o los impuestos, pueden afectar el modelo.





# 4.6 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Este análisis de sensibilidad consiste en buscar los valores de las diferentes variables que influyen en el proyecto para que los indicadores financieros cierren, es decir, que el proyecto tenga los indicadores económicos deseados para que sea rentable en el tiempo.

Para el análisis de sensibilidad, se consideraron 2 configuraciones financieras para cubrir los costos de inversión y tener una TIR

a corto plazo (a los 7 años) superior al 12 % y un VPN positivo:

- ✦ Variación del costo de disposición de los residuos con y sin beneficios tributarios.
- ✦ Una inversión parcial por parte de entidades públicas que se presenta en porcentaje y varía por escenario.

Según el análisis de sensibilidad desde la variación del costo del manejo de los residuos, se obtiene que el escenario B es el que tiene el menor

costo necesario para lograr una TIR positiva a 7 años. Los resultados corresponden a 236 COP por kilogramo de residuo orgánico tratado.

## Costo de disposición de residuos

Tabla 17. Análisis de sensibilidad variando el costo de los residuos

Escenarios	Valor para residuos CON beneficio tributario (COP/kg)	Valor para residuos SIN beneficio tributario (COP/kg)
Escenario A	290 COP	352 COP
Escenario B	236 COP	287 COP
Escenario C	252 COP	307 COP
Escenario D	263 COP	319 COP

■ Fuente: elaboración propia.

## Valor de ayuda económica

Tabla 18. Análisis de sensibilidad variando porcentaje de financiamiento

Escenarios	Valor financiado CON beneficio tributario	Valor financiado SIN beneficio tributario
Escenario A	325 554 706 COP	542 591 176 COP
Escenario B	46 507 815 COP	325 554 706 COP
Escenario C	139 523 445 COP	403 067 731 COP
Escenario D	201 533 866 COP	449 575 546 COP

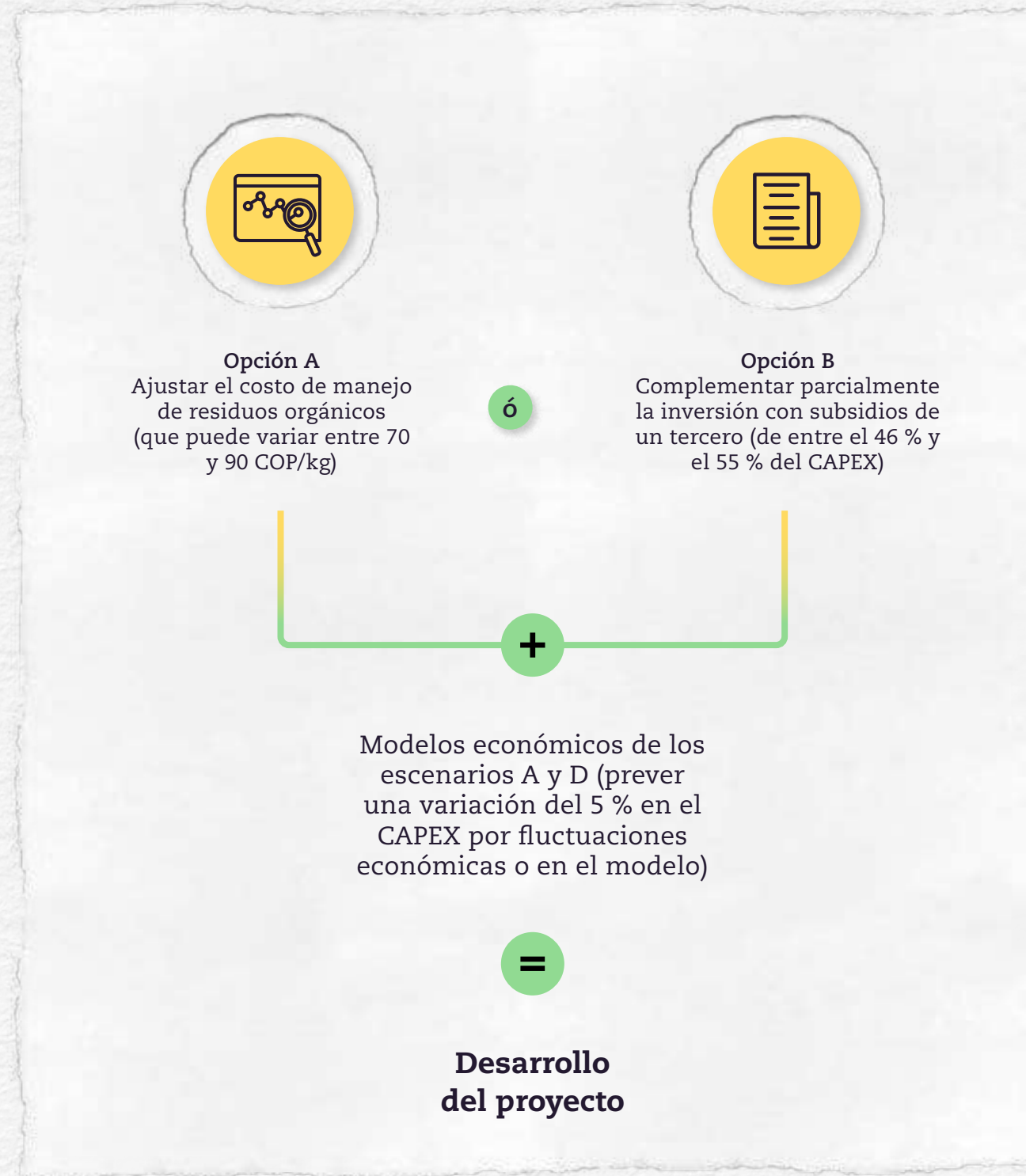
■ Fuente: elaboración propia.

A partir del análisis de sensibilidad, se sabe que el escenario que menos financiación necesita para obtener una TIR positiva a 7 años es el escenario B que corresponde al 100 % de la inversión mediante una deuda. En este escenario y con el beneficio tributario, la inversión sería de 46 507 815 COP. De no llegar a tener el beneficio tributario, el valor esperado del financiamiento sería de 325 554 706 COP.

Se debe tener en cuenta que el escenario B es el escenario con el 100 % de la inversión recibida mediante una deuda y los intereses y supuestos pueden variar dependiendo del banco o fondo de inversión. Por este motivo, el valor exacto solo se puede establecer después de la negociación con el financiador del proyecto.

En resumen, por un lado, está una configuración en la que se puede ajustar el costo del manejo de los residuos orgánicos, para que los ingresos aumenten y el modelo financiero cierre. Por otro lado, está la opción B, que complementa la inversión de cierta parte del proyecto por medio de un subsidio de un tercero, que disminuiría el costo de inversión del aeropuerto y así alcanzar a cubrir los gastos con los ingresos. En cualquiera de estas dos opciones, el valor a invertir se puede adquirir de fondos propios o por medio de una deuda. En la Figura 13, se muestra un esquema del financiamiento de la tecnología.

Figura 13. Posible configuración del financiamiento de la tecnología



Fuente: elaboración propia.





Prefactibilidad para un proyecto de gestión de residuos orgánicos en el Aeropuerto Internacional El Dorado

# SOSTENIBILIDAD

5.





Además del modelo financiero y la viabilidad económica, es importante determinar la contribución positiva del proyecto sobre los objetivos de sostenibilidad. Por lo cual, en esta sección, se listan los aportes del proyecto en el ámbito ambiental, social y económico.

Adicionalmente, se muestra un análisis de sostenibilidad que parte de una encuesta que se le realizó al personal del aeropuerto involucrado directamente con el biodigestor. Las preguntas buscaban recolectar la percepción de sostenibilidad del proyecto. Además, en los siguientes apartados, se muestra cómo se puede mantener en el tiempo esta iniciativa, a partir de la encuesta que se realizó.

## 5.1 DISEÑO DE LA ENCUESTA

La encuesta tuvo como objetivo recolectar información de sostenibilidad para el estudio de prefactibilidad del proyecto de gestión de residuos orgánicos *in situ*, con la tecnología de digestión anaerobia (el biodigestor) y en el Aeropuerto Internacional El Dorado.

Para el desarrollo de la encuesta, se tuvieron en cuenta los factores ambientales, sociales y económicos que van a influir en la implementación del proyecto. Los factores evaluados fueron:

### Factores ambientales:

- ✦ La disminución de gases de efecto invernadero (GEI).
- ✦ El impacto positivo en la sostenibilidad.
- ✦ La generación de energía renovable.
- ✦ La disminución de residuos llevados al relleno sanitario.
- ✦ La generación de compost/digestato.

### Factores sociales:

- ✦ Generación de empleo.
- ✦ Salud pública.
- ✦ Ayuda a comunidades agrícolas.
- ✦ Educación sobre el manejo de residuos orgánicos.
- ✦ Manejo de plagas.

### Factores económicos:

- ✦ Valor de la inversión.
- ✦ Tasa interna de retorno (TIR).
- ✦ Costo de operación y mantenimiento.
- ✦ Utilidad del proyecto.
- ✦ Reducción de costos asociados a la gestión de residuos orgánicos.

Para responder la encuesta, las personas participantes ordenaron del 1 al 5, siendo 1 el más importante y 5 el menos importante, los enunciados relacionados con los diferentes impactos de la implementación del biodigestor.



## 5.2

# ANÁLISIS DE ENCUESTAS

A partir de la encuesta, se recogieron un total de 16 respuestas. La primera pregunta fue “Por favor valore los siguientes enunciados relacionados con los impactos ambientales de la implementación del biodigestor del 1 al 5, siendo 1 el más importante y 5 el menos importante”. Los resultados se graficaron en la Figura 14.

Se encontró que, para las personas encuestadas, el impacto ambiental más significativo en la implementación del proceso de aprovechamiento de residuos orgánicos, por medio de la tecnología de biodigestor, es la “Disminución de residuos en el relleno sanitario” con un 44 %. El menos valioso es la “Generación de compost/digestato” con un 0 %. Para ver en detalle los resultados de la encuesta, se puede consultar el Anexo 5.

**Figura 14.** Impacto ambiental del biodigestor según las encuestas

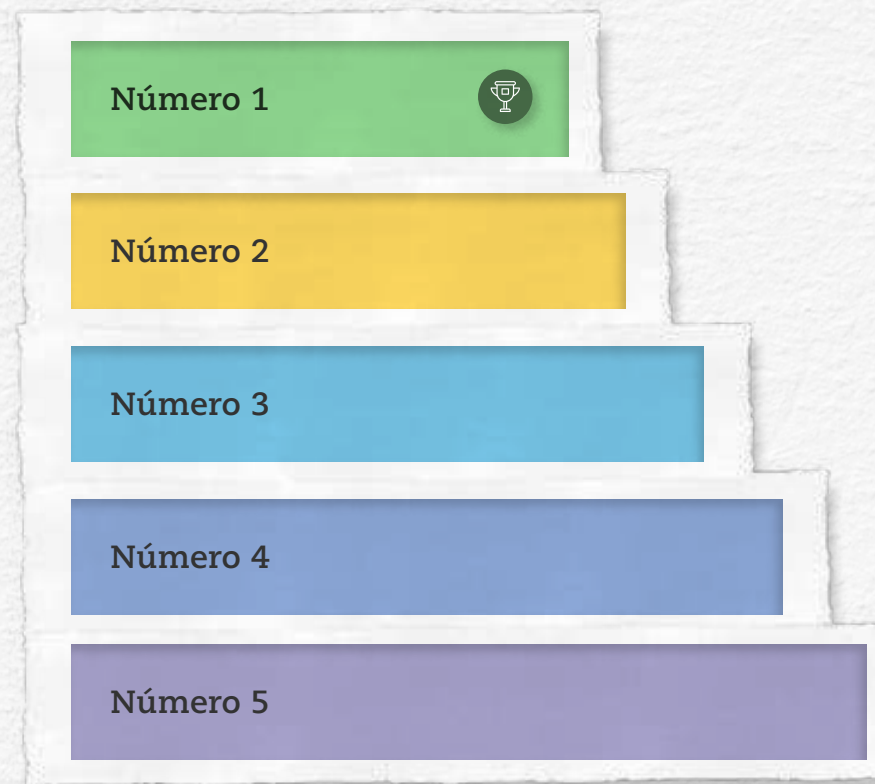
Disminución de residuos al relleno sanitario

Generación de energía renovable

Disminución de gases de efecto invernadero (GEI)

Impacto positivo en la sostenibilidad

Generación de compost/digestato



Fuente: elaboración propia.

Con la segunda pregunta, “Por favor valore los siguientes enunciados relacionados con los impactos sociales de la implementación del biodigestor del 1 al 5, siendo 1 el más importante y 5 el menos importante”, se encontró que la “Educación sobre el manejo de residuos orgánicos” es el impacto social más importante, según la población encuestada. Por su parte, el “Manejo de plagas” fue valorado como el impacto menos importante, tal y como se ve en la Figura 15. La información recolectada está detallada en el Anexo 5.



**Figura 15.** Impacto social del biodigestor según las encuestas



 **Fuente:** elaboración propia.

Finalmente, en cuanto a los impactos económicos, las personas encuestadas creen que el impacto más importante al momento de implementar el biodigestor para el aprovechamiento de residuos orgánicos, como se puede ver en la Figura 16, es el “Valor de la inversión” y el menos importante es la “Utilidad del proyecto”.

**Figura 16.** Impacto económico del biodigestor según las encuestas



 **Fuente:** elaboración propia.



## 5.3

# ANÁLISIS DE RESULTADOS

### Ambiental

- ✦ La tecnología propuesta evita que los residuos sólidos orgánicos generados en el Aeropuerto Internacional El Dorado lleguen a los rellenos sanitarios.
- ✦ De acuerdo con el análisis desarrollado durante el informe, se podrían gestionar 4,3 toneladas de residuos orgánicos por día. Esto equivale a un potencial aproximado de 1538 toneladas anuales que no terminarían en el relleno sanitario de Bogotá.
- ✦ Se evita la liberación de entre 1600 y 1900 kg anuales de CO<sub>2</sub>e cuando se implemente un digestor anaeróbico.
- ✦ El no tener que transportar los residuos del punto de generación (el aeropuerto) hasta el relleno sanitario o su punto de tratamiento disminuye en más de 5 t/d el CO<sub>2</sub>e emitido a la atmósfera.
- ✦ El potencial de generación de digestato alcanza a ser equivalente al 10 % de los residuos tratados, es decir que se generan 134 toneladas de digestato al año. Este producto puede ser utilizado como abono orgánico.
- ✦ Ahorra 2475 m<sup>3</sup> al año de volumen de residuos orgánicos que normalmente van al relleno sanitario.
- ✦ Reduce la generación de lixiviados y su potencial de riesgo de contaminar fuentes hídricas.
- ✦ La importancia de la implementación de los conceptos propuestos reside en la valorización de los residuos orgánicos y la reducción del uso de los vertederos.
- ✦ El digestato ofrece múltiples beneficios al medio ambiente, ya que:
  - Restablece la fertilidad del suelo al devolverle la materia orgánica
  - Es una fuente valiosa de nutrientes y minerales para las plantas, mejora la estructura del suelo al renovar el entorno de las raíces de las plantas, regenera la capacidad del suelo para la retención de agua en zonas propensas a la sequía y reduce los niveles de fertilizantes químicos que van al suelo.

- Aumenta la adherencia de las partículas al suelo, lo que reduce la erosión en las laderas causada por el flujo de agua de lluvia.

### Social

- ✦ El tratamiento adecuado de los residuos sólidos municipales beneficiará la salud pública, ya que evita la proliferación de vectores, enfermedades y olores.
- ✦ La implementación de un sistema de gestión de residuos sólidos descentralizado es un modelo comercial rentable y permite crear nuevos empleos verdes dependiendo del tamaño del sistema. Para el caso de estudio, el escenario planteado requiere de un operador a tiempo parcial.
- ✦ La promoción de estos sistemas permitirá que las industrias relacionadas con la producción y el mantenimiento de tecnología encuentren más demanda y haya más oportunidades de empleo indirecto relacionadas con estos sistemas.

- ✦ Proporciona una fuente de ingresos estable y mejores condiciones de trabajo.
- ✦ Aumenta la conciencia de la comunidad sobre la importancia de la gestión sostenible de los residuos sólidos.

### Económica

- ✦ Produce 134 toneladas al año de digestato de buena calidad que puede ser vendido para conseguir ingresos.
- ✦ Se van a generar 16 194 kWh/mes de energía eléctrica, lo que equivale aproximadamente al 37 % del uso de energía en la zona de la PTAR y ECA del aeropuerto.
- ✦ Requiere entre 200 y 250 m<sup>2</sup> de área para su implementación.
- ✦ Promueve el consumo y la producción sostenible mediante ciclos de materiales de circuito cerrado.
- ✦ Ahorra costos de combustible al no tener que transportar los residuos al vertedero que suele estar lejos de la ciudad.



Prefactibilidad para un proyecto de gestión de residuos orgánicos en el Aeropuerto Internacional El Dorado

# CONCLUSIONES

6.







De acuerdo con el análisis realizado durante este estudio de prefactibilidad, la cantidad de generación de residuos orgánicos (4,27 t/d), la calidad de separación de los residuos desde el origen y el espacio disponible para el proyecto hacen del Aeropuerto Internacional El Dorado el lugar idóneo para llevar a cabo la implementación de un sistema de tratamiento de residuos orgánicos.

Adicionalmente, el costo por el manejo de los residuos que cobra el aeropuerto a los tenedores de espacio es óptimo para aplicar el modelo financiero.

Con el análisis de las diferentes tecnologías para el tratamiento de los residuos orgánicos que existen en la actualidad, se pudo determinar que la tecnología viable para el proyecto es la de digestión anaeróbica (o biodigestor). Se sugiere este sistema debido al espacio que requiere, el costo de inversión, la facilidad de operación y la prevención de olores que puedan atraer cualquier tipo de vectores o fauna.

A continuación, se detallan las conclusiones para cada uno de los componentes claves para desarrollar el sistema desde la digestión anaeróbica.

### Cantidades y espacio

- ✧ El espacio disponible es de 500 m<sup>2</sup>. Este lugar fue designado por el Aeropuerto Internacional El Dorado para el aprovechamiento y valorización de residuos orgánicos y es adecuado para el desarrollo del biodigestor.

- ✧ En el aeropuerto, se podrían manejar 4,5 toneladas de residuos orgánicos por día, es decir, se evitaría que 1538 toneladas anuales terminaran en el relleno sanitario de Bogotá.

- ✧ Actualmente el aeropuerto tiene un flujo 36 millones de pasajeros al año y se espera que, para el 2030, el flujo de pasajeros sea de aproximadamente 56 millones. La administración espera un incremento de un 64 % de las personas viajeras.

- ✧ De acuerdo con lo anterior y teniendo las estadísticas actuales, la generación de residuos orgánicos sería de 6,4 t/d para 2030.

- ✧ Con el espacio designado por el aeropuerto, se puede hacer una expansión del sistema de tratamiento para trabajar con la demanda que se prevé para 2030.

- ✧ Finalmente, se debe tener en cuenta que para el desarrollo de la estrategia es necesario el análisis y diseño de ingeniería de detalle. Deben incluir estudios de suelo, redes de conexiones hidráulicas y eléctricas, elaboración de planos, cantidad de materiales, entre otros. Con esto, se determinarán los criterios y características finales de la implementación del proyecto. El valor puede variar entre 300 millones COP y 400 millones COP, dependiendo de la cantidad de estudios que se deban realizar para la ejecución del proyecto.

### Viabilidad de la tecnología

- ✧ El biodigestor es una tecnología que no genera olores ni atrae vectores. Esta es una característica importante debido a que no genera ningún tipo de riesgo para las actividades aeronáuticas del Aeropuerto Internacional El Dorado.

- ✧ Esta tecnología tiene como subproductos el digestato que puede ser utilizado como abono o fertilizante.

- ✧ Para el caso específico del aeropuerto, con el gas generado en el biodigestor se va a producir electricidad a partir de una turbina.

- ✧ El proceso del biodigestor, en comparación con otras tecnologías, requiere de un espacio más pequeño y de menos trabajo en infraestructura y obras civiles.

- ✧ La implementación de un sistema de gestión de residuos sólidos descentralizado es un modelo comercial rentable que puede crear nuevos empleos verdes, dependiendo del tamaño del sistema.

- ✧ Esta tecnología le da una valorización a los residuos orgánicos.



## Modelos financieros

- ✧ Aunque el escenario B (inversión a partir del 100 % de deuda) tiene los datos más favorables para el modelo económico, no se recomienda que se tome esta opción, ya que los intereses y supuestos pueden variar dependiendo del banco o fondo de inversión. Por tanto, el escenario B es el menos favorable a la hora de la negociación con el financiador del proyecto.
- ✧ Para dar cierre al modelo económico, es decir, que el proyecto tenga los indicadores económicos deseados para ser rentable en el tiempo, se debe incrementar el valor de la gestión de los residuos o aumentar la inversión a través de terceros, por ejemplo a partir de un subsidio.
- ✧ De acuerdo con el punto anterior y el análisis de sensibilidad realizado, el costo por manejo de residuos orgánicos puede aumentar desde 236 hasta 352 COP/kg, dependiendo del escenario que se escoja.
- ✧ Para completar la inversión se necesitaría un subsidio de un tercero. Este puede variar entre 46 507 815 COP en el mejor de los casos y 542 591 176 COP en el peor de los casos.
- ✧ Se sugiere prever una variación del 5 % en el CAPEX total de la tecnología, lo cual corresponde aproximadamente a 92 500 000 COP, debido a las fluctuaciones económicas y cambios en el modelo financiero.

## Impacto ambiental, social y económicos

- ✧ La implementación de este proyecto incrementa la innovación de este tipo de tecnologías en el país.
- ✧ A partir del tratamiento de esa cantidad de residuos orgánicos, la capacidad de generación de electricidad destinada para el uso interno es de 16 194 kWh/mes, cerca del 37 % utilizado en estas áreas.
- ✧ De acuerdo con la encuesta realizada, la percepción de las personas encuestadas es que llevar a cabo el tratamiento de los residuos orgánicos, por medio del biodigestor, es muy importante para la disminución de los residuos sólidos enviados al relleno sanitario.

- ✧ El impacto social más importante, de acuerdo con los resultados de las encuestas, es la educación sobre el manejo de los residuos orgánicos.
- ✧ El impacto económico más importante para las personas encuestadas a la hora de implementar el biodigestor es el valor de la inversión de la tecnología del biodigestor.

© Daniel Hernández.





## BIBLIOGRAFÍA

Alvarez, A. S. (2014). Aprovechamiento energético de residuos sólidos municipales mediante el uso de tratamientos de avanzada. *Cegesti*, 4 (235), 1-4 [http://www.cegesti.org/exitoempresarial/publicaciones/publicacion\\_253\\_240314\\_es.pdf](http://www.cegesti.org/exitoempresarial/publicaciones/publicacion_253_240314_es.pdf).

Banco de la República. (2 de Noviembre de 2022). *Estadísticas Económicas*. Obtenido de <https://toto.ro.banrep.gov.co/estadisticas-economicas/faces/pages/charts/line.xhtml?facesRedirect=true>

Biswas, A., Tewari, S. & Parida, S. (2021). *Decentralized Management of Segregated Organic Waste*. Centre for Science and Environment, New Delhi.

DANE. (2 de Noviembre de 2022). *Índice de Precios al Consumidor*. Obtenido de <https://sitios.dane.gov.co/ipc/visorIPC/#/>

GAIA. (2017). *Gasificación y pirólisis de residuos: procedimientos de alto riesgo y baja rentabilidad para el tratamiento de residuos*.

GIZ. (2022a). *Análisis del potencial de valorización de los residuos orgánicos y reciclables en Bogotá*.

GIZ. (2022b). *Estudio del mercado de valorización de los residuos reciclables en Bogotá*.

GIZ. (2022c). *Análisis de la viabilidad técnico-económica para proyectos de tratamiento in situ de residuos orgánicos en las Plazas de Mercado de Bogotá*.

FAO. (2020). Evaluación final del Proyecto FAO para la promoción de la energía derivada de biomasa. (PROBIOMASA). Serie de evaluaciones de proyectos, 10/2020. Roma.

Klug, M. (2012). Pirólisis, un proceso para dretir biomasa. *Revista Química PUCP*, 26 (1-2), 37. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/101157>

OPAIN S.A. (2022). Plan de gestión integral de residuos sólidos Aeropuerto El Dorado de Bogotá. Recuperado de [https://www.opain.co/files/anejo\\_22\\_gss-pn-002\\_plan\\_de\\_gestion\\_integral\\_de\\_residuos\\_solidos2.pdf](https://www.opain.co/files/anejo_22_gss-pn-002_plan_de_gestion_integral_de_residuos_solidos2.pdf)

Siddiqui, S. A. et al. (2022). Black Soldier Fly Larvae (BSFL) and Their Affinity for Organic Waste Processing. *Waste Manag.* 2022 Mar 1;140:1-13. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X22000010>

UPME, (2018). *Valorización energética de residuos: WTE Colombia*. Obtenido de [https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/handle/001/1339/Productos%201,2%20y%203\\_V2.pdf;jsessionid=17AAD-5637C6E6A91242186EB5BA1110F?sequence=5](https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/handle/001/1339/Productos%201,2%20y%203_V2.pdf;jsessionid=17AAD-5637C6E6A91242186EB5BA1110F?sequence=5)





# ANEXOS

## Anexo 1. Datos del proyecto

**Tabla 19.** Cantidad y costo de residuos en 2019

Fecha	Cantidad (kg/mes)	(COP/kg)	(COP/mes)
Enero	122 065	230 COP	28 074 835 COP
Febrero	107 177	230 COP	24 650 756 COP
Marzo	118 366	230 COP	27 224 157 COP
Abril	119 338	230 COP	27 447 786 COP
Mayo	119 073	230 COP	27 386 698 COP
Junio	123 226	230 COP	28 341 934 COP
Julio	168 624	230 COP	38 783 451 COP
Agosto	127 617	230 COP	29 351 933 COP
Septiembre	126 506	230 COP	29 096 449 COP
Octubre	132 099	230 COP	30 382 678 COP
Noviembre	129 844	230 COP	29 864 166 COP
Diciembre	144 581	230 COP	33 253 699 COP
<b>Total</b>	1 538 515	-	353 858 542 COP

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 20.** Consumo de energía y costo asociado

Mes	Consumo (kWh)	COP/kWh
Febrero	40 660	26 812 020 COP
Marzo	42 180	28 288 640 COP
Abril	45 220	30 464 930 COP
Mayo	43 320	30 438 720 COP
Junio	47 880	33 940 580 COP
Julio	45 220	32 933 480 COP
Agosto	42 560	31 829 770 COP


Fuente: elaboración propia.



## Anexo 2. Gestión de residuos

Tabla 21. Código de colores

	<b>Residuos reciclables:</b> papel y cartón.		<b>Residuos de construcción y demolición:</b> residuos de excavación y demolición, tierras, arcillas, arenas sobrantes de mezcla de cemento y concreto.
	<b>Residuos reciclables:</b> plásticos y vidrio, empaques de papel plastificado, poliestireno expandido, pitillos, tela.		<b>Residuos de madera:</b> estibas, retales, tablas.
	<b>Residuos orgánicos:</b> restos de alimentos, cortezas, frutas, hortalizas, alimentos vencidos, carnes, trampas de grasa, lavazas, etc.		<b>Residuos FOD:</b> cualquier objeto o material suelto en el área de movimiento que pueda ser impulsado por el aire o arrojado hacia una aeronave, persona o edificio.
	<b>Residuos metálicos:</b> llaves, monedas, utensilios de cocina, láminas de metal, cobre, estaño, etc.		<b>Residuos de aparatos electrónicos y eléctricos:</b> equipos, partes y componentes eléctricos y electrónicos como equipos de cómputo, celulares, cables, electrodomésticos, neveras, hornos microondas, etc.
	<b>Residuos ordinarios:</b> barrido, servilletas, papel, carbón.		<b>Residuos peligrosos:</b> provenientes de vuelos internacionales, riesgo infeccioso, material impregnado de aceites, alcoholes, pinturas, químicos, aceites usados, aerosoles, pegamentos. Lodos del sistema de tratamiento de agua residual y alcantarillado, cenizas, baterías, bombillos fluorescentes, pilas, etc.
	<b>Residuos sanitarios:</b> residuos de papel de servicios sanitarios, toallas higiénicas, tampones, pañales, excrementos de animales.		

 Fuente: OPAIN S.A.(2022).

## Anexo 3. Escenarios de modelos financieros

Tabla 22. Escenarios creados para el modelo económico

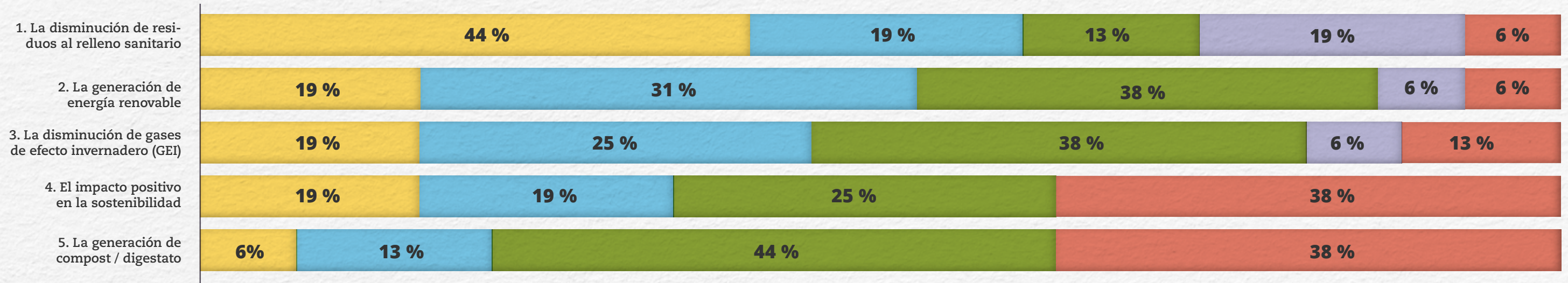
Escenario	Escenarios analizados en el documento	Deuda	Inversión
1	A	0 %	100 %
2	-	10 %	90 %
3	-	20 %	80 %
4	-	30 %	70 %
5	-	40 %	60 %
6	D	50 %	50 %
7	-	60 %	40 %
8	C	70 %	30 %
9	-	80 %	20 %
10	-	90 %	10 %
11	B	100 %	0 %

 Fuente: elaboración propia.



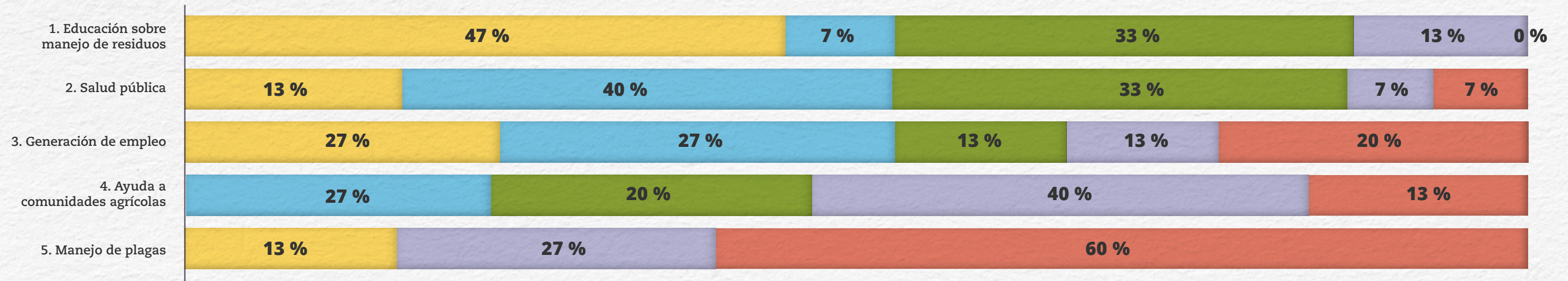
### Anexo 4. Resultados encuesta sostenibilidad

Figura 17. Resultados encuesta impacto ambiental



Fuente: elaboración propia.

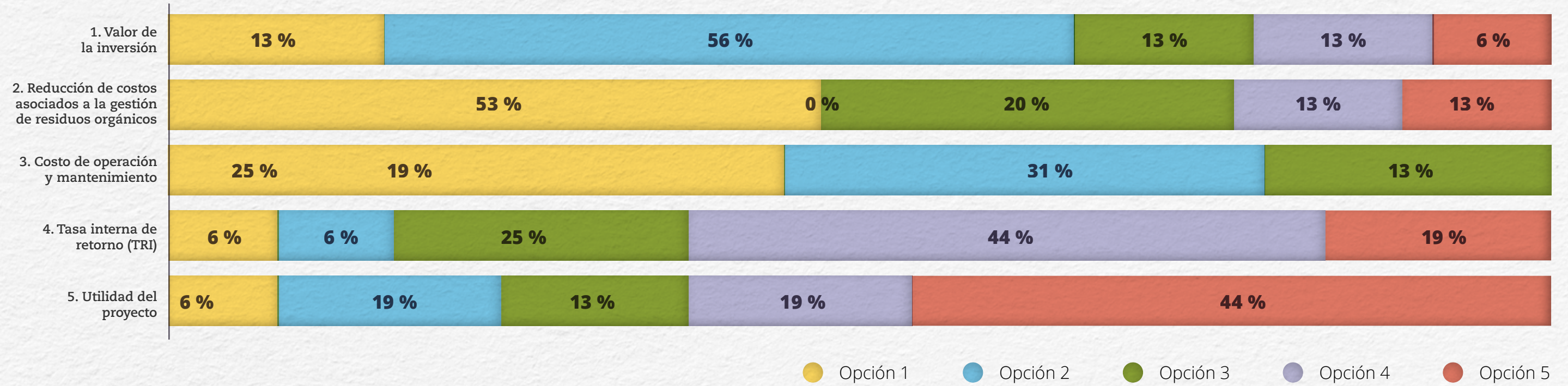
Figura 18. Resultado encuesta impacto social



Fuente: elaboración propia.



Figura 19. Resultado encuesta impacto económico



Fuente: elaboración propia.



**PREFACTIBILIDAD PARA  
UN PROYECTO DE GESTIÓN  
DE RESIDUOS ORGÁNICOS  
EN EL AEROPUERTO  
INTERNACIONAL EL DORADO**



Implementado por  
**giz** German Development  
Cooperation GIZ GmbH