



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **Alternativas para el aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos-RSO en Bogotá: Enfoque de economía circular**

**Angie Paola Fonseca Figueroa**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias Económica  
Instituto de Estudios Ambientales  
Bogotá, Colombia  
2023



# **Alternativas para el aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos-RSO en Bogotá: Enfoque de economía circular**

**Angie Paola Fonseca Figueroa**

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Medio Ambiente y Desarrollo**

Director (a):

Ph.D. Carmenza Castiblanco Rozo

Línea de Investigación:

Economía, ambiente y desarrollo

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Económica

Instituto de Estudios Ambientales

Bogotá, Colombia

2023



*Los grandes resultados requieren grandes ambiciones.*

*Heráclito*



## **Declaración de obra original**

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

---

Angie Paola Fonseca Figueroa

Fecha 30/07/2023

## **Agradecimientos**

Agradezco a mi madre, mi padre y mis hermanas por el apoyo y la paciencia durante el desarrollo de la maestría y la elaboración del trabajo final. También a toda mi familia que me ha visto crecer en este proceso.

Agradezco a mis amigos y amigas de la vida, que siempre me han brindado su apoyo y ánimo para continuar con los estudios y culminar la maestría.

Agradezco a la profesora Carmenza Castiblanco por guiarme en el desarrollo del trabajo. A mis compañeros de clase y profesores del IDEA, pues de cada uno aprendí nuevas formas de ver la vida.

Finalmente, agradezco a mi alma mater, la Universidad Nacional de Colombia, que me dio la oportunidad de formarme durante todos estos años, para lograr ser profesional en Economía y Magister en Medio Ambiente y Desarrollo.

## Resumen

### **Alternativas para el aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos-RSO en Bogotá: Enfoque de economía circular**

Bogotá deposita diariamente en el relleno sanitario 6.500 toneladas de residuos sólidos, que el 51% son residuos sólidos orgánicos (RSO) (OAB, 2023a). La masiva generación de residuos, entre otras razones, es consecuencia de un modelo lineal de gestión, por lo que se está transitando hacia un modelo de gestión basado en la Economía Circular (EC) que juega un papel importante a la hora de repensarse alternativas que puedan reincorporar los RSO en el ciclo económico, reduciendo la generación Gases Efecto Invernadero (GEI). En la ciudad existen alternativas de aprovechamiento de los RSO como las plantas de compostaje, las pacas biodigestoras y plantas de biogás que producen energía renovable.

El trabajo pretende realizar un análisis de las alternativas de aprovechamiento de los RSO en Bogotá con enfoque de EC, por lo que se realizó una descripción de los factores que impiden o potencializan la gestión de los RSO, se identificaron las alternativas implementadas en la ciudad y se analizó el enfoque de la EC.

Las alternativas implementadas para el aprovechamiento de los RSO son un claro ejemplo del enfoque de la EC, valorizando los RSO que tienen alto potencial energético. Pero existe el reto de superar las barreras como poca inversión tecnológica, problemas de acceso a la información, dignificación de la labor del reciclador y normatividad clara para la generación energética. El principal problema de la gestión de los RSO es la inadecuada separación en la fuente, que impide aprovechar el total de potencial energético de los RSO, aumentar la tasa de aprovechamiento y la creación de mayor cantidad de productos y subproductos que se puedan comercializar.

**Palabras clave:** Economía circular, gestión de residuos orgánicos en Bogotá, alternativas de aprovechamiento, digestión anaeróbica, biogás, compostaje.

## Abstract

### **Alternatives for the use of Organic Solid Waste-OSW in Bogotá: Circular Economy Approach**

Bogotá deposits 6.500 tons of solid waste daily in the landfill, 51% of which is organic solid waste (OSW) (OAB, 2023a). The large generation of waste, among other reasons, is the consequence of a linear management model, which is why we are moving towards a management model based on the Circular Economy (CE) that plays an important role when it comes to rethinking alternatives that they can reincorporate OSW into the economic cycle, reducing the generation of Greenhouse Gases (GHG). In the city there are alternatives for the use of OSW such as composting plants, biodigester bales and biogas plants that produce renewable energy.

The work intends to carry out an analysis of the alternatives for the use of the RSO in Bogotá with a CE approach, for which a description of the factors that prevent or enhance the management of the OSW was carried out, the alternatives implemented in the city were identified and the CE approach was analysed.

The alternatives implemented for the use of OSW are a clear example of the CE approach, valuing OSW that have high energy potential. But there is the challenge of overcoming barriers such as little technological investment, problems of access to information, dignity of the recycler's workforce and clear regulations for energy generation. The main problem in the management of OSW is inadequate separation at the source, which prevents taking advantage of the total energy potential of OSW, increasing the rate of use, and creating a greater quantity of products and by-products that can be marketed.

**Keywords: Circular economy, organic waste management in Bogotá, use alternatives, biogas, anaerobic digestion, composting.**

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	<b>IX</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>X</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>XIV</b>
<b>Lista de Símbolos y abreviaturas</b> .....	<b>XV</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Revisión de la gestión de residuos sólidos</b> .....	<b>1</b>
1.1 Gestión de los residuos sólidos a nivel mundial .....	3
1.2 Gestión de los residuos sólidos en Colombia .....	5
1.3 Gestión de los residuos sólidos en Bogotá.....	6
<b>2. Marco metodológico</b> .....	<b>11</b>
<b>3. Enfoques teóricos, aclaraciones conceptuales y marco legal</b> .....	<b>15</b>
3.1 Economía Circular .....	15
3.2 Principios de la Economía Circular .....	19
3.3 Marco normativo de la economía circular en Colombia.....	20
3.3.1 Normas de rango legal.....	21
3.3.2 Normas de rango reglamentario de orden Nacional .....	22
3.3.3 Normas de rango reglamentario de orden Distrital .....	24
<b>4. Diagnóstico de la gestión de los Residuos Sólidos Orgánicos – RSO</b> .....	<b>29</b>
4.1 Generación y separación en la fuente .....	30
4.2 Recolección y transporte .....	33
4.2.1 Los recicladores de oficio en la gestión de RSO .....	35
4.3 Aprovechamiento y tratamiento .....	37
4.3.1 Costos elevados para aplicar tecnologías de aprovechamiento de RSO .....	39
4.3.2 Incentivo al aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos (IAT) .....	40
4.3.3 Barreras en el acceso a la información.....	41
4.4 Disposición final.....	41
<b>5. Alternativas de gestión de residuos sólidos orgánicos</b> .....	<b>43</b>

5.1	La digestión anaeróbica (DA) y producción de biogás .....	45
5.1.1	Biogás y la generación de energía .....	48
5.2	Producción de biogás y energía en Bogotá.....	49
5.2.1	Biodigestores anaeróbicos del Jardín Botánico de Bogotá .....	49
5.2.2	Biodigestor anaeróbico en la PTAR Salitre.....	50
5.2.3	Planta de Biogás Doña Juana .....	51
5.2.4	Actores y aspectos normativos en el biogás.....	53
5.3	Digestato y producción de bioabono .....	54
5.3.1	El Compostaje.....	55
5.3.2	Plantas de compostaje en Bogotá .....	56
5.3.3	Pacas biodigestoras y huertas urbanas.....	58
<b>6.</b>	<b>Análisis de alternativas de gestión de RSO en Bogotá con enfoque de Economía Circular .....</b>	<b>60</b>
6.1	Sistema de producción y consumo que maximice la eficiencia de los materiales y la energía.....	62
6.2.	Uso circular de los flujos de materiales, fuentes de energía renovables y flujos de energía en cascada.....	63
6.3	Innovación tecnológica, alianzas y colaboraciones entre actores y el impulso de modelos de negocios, complementadas con actividades de apoyo como el reciclaje..	64
6.4	Reducción en el uso de materiales vírgenes minimizando al máximo los residuos del sistema .....	65
6.5	Principal obstáculo para llegar a la EC en el aprovechamiento de RSO.....	66
<b>7.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>67</b>
7.1	Conclusiones .....	67
7.2	Recomendaciones.....	68
<b>Bibliografía .....</b>	<b>.....</b>	<b>71</b>

## Lista de figuras

	Pág.
<b>Figura 1-1:</b> Toneladas de disposición final de residuos sólidos en el Relleno Sanitario Doña Juana .....	7
<b>Figura 2-1:</b> Sistema Economía Circular .....	19
<b>Figura 3-1:</b> Fases de la gestión de residuos sólidos – Economía Circular .....	29
<b>Figura 3-2:</b> Modelo de gestión integral de RSO .....	38
<b>Figura 3-3:</b> Costo Neto por tonelada diferentes técnicas de tratamiento, disposición final o aprovechamiento de RSO .....	39
<b>Figura 4-1:</b> Métodos de tratamiento de residuos globales .....	43
<b>Figura 4-2:</b> Soluciones para la recuperación de RSO - Veolia.....	44
<b>Figura 4-3</b> Procesos de una planta de Digestión Anaeróbica .....	47
<b>Figura 4-4</b> Biodigestor del Jardín Botánico José Celestino Mutis .....	50
<b>Figura 4-5</b> Digestores anaerobios en la PTAR El Salitre .....	51
<b>Figura 4-6</b> Planta de biogás Doña Juana.....	52
<b>Figura 4-7</b> Etapas del compostaje de residuos de competencia municipal .....	55
<b>Figura 4-8</b> Pacas biodigestoras.....	59

## Lista de tablas

	Pág.
<b>Tabla 1-1:</b> Porcentaje de generación por tipo de material y tasa de aprovechamiento..	8
<b>Tabla 2-1</b> Revisión de Literatura en SCOPUS .....	11
<b>Tabla 2-2</b> Documentos institucionales consultados .....	11
<b>Tabla 2-1:</b> Normas de rango legal de la economía circular .....	21
<b>Tabla 2-2:</b> Normas de rango reglamentario de la economía circular de orden Nacional	22
<b>Tabla 2-3:</b> Normas de rango reglamentario de la economía circular de orden Distrital	24
<b>Tabla 3-1:</b> Suscriptores beneficiarios del incentivo de separación en la fuente-DINC Bogotá 2018 - 2023 .....	32
<b>Tabla 4-1:</b> Características de las plantas de compostaje de RSO en Bogotá.....	56

## Lista de Símbolos y abreviaturas

### Abreviaturas

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
RSO	Residuos Sólidos orgánicos
EC	Economía Circular
PGIRS	Plan de Gestión Integral de Residuos Solidos
UAESP	Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos
GEI	Gases Efecto Invernadero
DA	Digestión Anaeróbica
CRE	Certificados de Reducción de Emisiones
VTH	Vehículos de tracción humana
CRA	Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento básico
CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas
ICA	Instituto Colombiano Agropecuario
MADR	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
EMAF	Fundación Ellen MacArthur
SUI	Sistema Único de Información de Servicios Públicos
SDA	Secretaria Distrital de Ambiente
ASE	Área de Servicio Exclusivo
DINC	Incentivo a la Separación en la Fuente
RURO	Registro Único de Recicladores de Oficio
RUOR	Registro Único de Organización de Recicladores
OAB	Observatorio Ambiental de Bogotá
ECA	Estación de Clasificación y Aprovechamiento
CAR	Corporación Autónoma Regional
IAT	Incentivo al Aprovechamiento y Tratamiento
PIDJ	Parque de Innovación Doña Juana
RSDJ	Relleno Sanitario Doña Juana
JBB	Jardín Botánico Jose Celestino Mutis



## Introducción

El aumento de la población y un modelo económico lineal donde la mayoría de lo que se consume se desecha, ha repercutido en el aumento de la generación de residuos sólidos en los hogares. En el mundo se genera más de 2.010 millones de toneladas de residuos sólidos al año, de los cuales el 44% corresponde a alimentos (orgánicos), lo que origina el 5% de los Gases Efecto Invernadero (GEI) (WBG, 2018). Alrededor del 70% de estos residuos se disponen en rellenos sanitarios, el 19% se reprocesa y con el 11% se recupera energía, siendo muy baja respecto al potencial de aprovechamiento de los residuos (Sudarsan et al., 2022).

En Bogotá, más del 50% de los residuos dispuestos en el relleno sanitario corresponden a residuos sólidos orgánicos (RSO), que son depositados allí ante la falta de una gestión adecuada, lo cual impacta negativamente el ambiente (OAB, 2023a). Esto es consecuencia de un modelo económico lineal en el que se extrae, se produce, se consume y se desecha permanentemente gran cantidad de residuos y emisiones que repercuten en el calentamiento global y demostrando la necesidad urgente, de cambiar el paradigma de desarrollo económico, hacia un proceso de producción y consumo más amigable con el medio ambiente, como es la propuesta de la Economía Circular (EC), que implica alejarse del concepto de un manejo de residuos enfocado únicamente en su disposición final y pasar a priorizar las opciones de conversión de los residuos en recursos y de energía, con valorización de materiales y el cumplimiento de una serie de principios definidos a lo largo de los diferentes estudios realizados (EMAF, 2016).

En la ciudad se implementan alternativas tecnológicas de aprovechamiento y tratamiento de RSO lo que ha permitido el mejoramiento en la gestión de este tipo de residuos, reduciendo sus impactos ambientales y generando externalidades positivas, pero es necesario revisar la implementación de los principios de la EC para mejorar su impacto por lo que el presente trabajo tiene como objetivo realizar un análisis de alternativas de aprovechamiento de los RSO en Bogotá desde un enfoque de Economía Circular. En

primer lugar, se realizará una descripción de los factores ambientales, económicos, normativos o sociales que potencializan o limitan la gestión de los RSO en cada una de sus etapas. Posteriormente, se identificarán las alternativas de gestión de residuos sólidos orgánicos aplicadas en la ciudad y finalmente, se analizará las alternativas de aprovechamiento aplicadas en Bogotá que cumplen con los criterios de Economía Circular, para finalmente dejar recomendaciones de mejora en la gestión actual de los RSO en Bogotá.

# 1. Contexto de la gestión de residuos sólidos

En el presente capítulo se realiza un breve contexto de la gestión de los residuos sólidos a nivel mundial, nacional y distrital, con el fin de explicar las causas del problema, los antecedentes y la justificación que se pretenden abordar en el trabajo de grado.

## 1.1 Gestión de los residuos sólidos a nivel mundial

La generación de residuos a nivel mundial puede aumentar a 3.800 millones de toneladas anuales en el año 2.050, de acuerdo con las proyecciones del Banco Mundial, por cuenta de un crecimiento acelerado de la población y de un crecimiento económico basado en un modelo económico lineal de producción, consumo y desecho, insostenible para el medio ambiente (Kaza et al., 2021). Se estima que al menos el 33% de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) generados a nivel mundial no se gestionan de manera segura para el ambiente y tan solo el 16% se reciclan, siendo aún menor en países de bajos ingresos, donde más del 90% de los residuos son depositados en vertederos no regulados o quemados al aire (Chew et al., 2022; N. Smith, 2019; WBG, 2018).

Es importante resaltar que aun cuando el 44% de los residuos a nivel mundial son orgánicos, en el año solo se gestiona por medio del compostaje el 5% de los residuos sólidos urbanos (RSU) y los demás son destinados a sistemas de disposición final que generan un fuerte impacto ambiental, especialmente en las ciudades donde no se tiene un control efectivo de los lixiviados, generando contaminación hídrica, lo que pone en riesgo la salud por su alta toxicidad (Park & Batchelor, 2002). La masiva generación de RSO es consecuencia de los 931 millones de toneladas de alimentos que terminan en la basura al año, de los cuales, 569 millones provienen de los hogares de países con alta densidad poblacional y alto consumo, como China (395 millones de toneladas al año) o Estados Unidos (265 millones de toneladas) (Environment, 2021; Mena, 2022).

La gran problemática de estos grandes países es que, ante la falta de espacio para depositar los RSO, utilizan otros países como basureros, debido, entre otras razones a que la mano de obra para gestionarlos es mucho más económica, por ejemplo, Malasia que comenzó a recibir en 2018 miles de toneladas de RSO de manera ilegal provenientes de Reino Unido, Estados Unidos y Japón (Semana, 2020a). Esto indica que la alta generación de residuos repercute de manera global al ambiente, requiriendo cambiar los paradigmas de consumo, producción y generación de desecho, así como la necesidad de mejorar las prácticas en cuanto a la gestión de los residuos en los países de altos ingresos y reduciendo las desigualdades a nivel mundial con los países con bajos ingresos.

Alemania y Holanda gestionan sus residuos de manera adecuada aprovechandolos en un 99% por medio del reciclaje, tratamiento térmico o biológico, y tan solo el 1% se dispone en el relleno sanitario (CAF, 2018). Esta adecuada gestión se debe a que desde el año 2012 se implementa la Ley de Economía Circular en Alemania, que incorpora los principios “el que contamina paga”, “la jerarquía de desperdicio de cinco niveles”, y, “el principio de responsabilidad pública y privada compartida para la gestión de residuos” (Segura et al., 2020), en este contexto la gestión de los residuos se vuelve responsabilidad de la sociedad, complementado con el fortalecimiento de las instituciones, el cambio cultural y la concientización ambiental.

En América Latina se genera el 11% de los residuos a nivel mundial, de estos el 68% se gestionan en el vertedero (WBG, 2018), el 54% son residuos orgánicos y tan solo el 5% se logra reciclar (CAF, 2018), por la falta de alternativas implementadas para el aprovechamiento energético de estos residuos. De acuerdo con las perspectivas del Banco Mundial, actualmente América Latina produce 265 millones de toneladas al año de RSU y se proyecta que en el año 2050 alcance a los 560 millones de toneladas, superando a Europa y Norteamérica, por el crecimiento acelerado de la población (Kaza et al., 2021). Así mismo, en la región la tasa total de generación per cápita de residuos ha aumentado progresivamente, principalmente por el aumento de la urbanización, del consumo y el cambio en los estilos de vida de los habitantes (CAF, 2018). Países de América Latina como Brasil, México y Colombia generan altas tasas de desperdicio de alimentos al año, que se depositan en sistemas de disposición final y sumado a la falta de infraestructura para la gestión de los RSO, se generan problemas de lixiviados, contaminación hídrica y alta generación de gases efecto invernadero (Environment, 2021).

## 1.2 Gestión de los residuos sólidos en Colombia

Colombia no presenta una situación ajena a la mundial, pues de los 22,6 millones de toneladas de residuos generados en el año 2020, que corresponden el 8% de los residuos en América Latina, el 50% son depositados en vertederos controlados, (rellenos sanitarios), de los cuales el 6,7% tienen la vida útil vencida y 11,3% tiene vida útil de 0 a 3 años. Los rellenos sanitarios en los que se depositan la mayoría de los residuos son, tecnologías obsoletas para la gestión de residuos en el país, lo que evidencia la necesidad de buscar nuevas alternativas de tratamiento y aprovechamiento, con el fin de no desperdiciar el potencial energético de los RSO (Camelo et al., 2023; DANE, 2022a). En el año 2021 se aprovecharon 2,27 millones de toneladas, 19,2% más que en el año anterior, pero este porcentaje corresponde tan solo al 10% del total de residuos generados en el país (Gonzalez et al., 2023). Al igual que América Latina, el 61% de los residuos son orgánicos y contribuyen a la generación de gases efecto invernadero cuando son enterrados en los rellenos sanitarios, debido a la rápida tasa de descomposición de las fracciones orgánicas y la baja eficiencia de recolección de gases en los vertederos donde se almacenan inicialmente los residuos (CONPES 3874, 2016; Liu et al., 2017). No se tiene una clara normatividad en cuanto a su gestión, pues estos residuos se ven como un proceso aislado dentro del servicio público de aseo, lo cual se evidencia al no encontrarse incluidos dentro del reporte de aprovechamiento que realiza la Superintendencia de Servicios Públicos anualmente (Castañeda Torres & Rodríguez Miranda, 2017).

El manejo integral de los residuos comprende las siguientes etapas: generación, separación en la fuente, recolección, transferencia y transporte, aprovechamiento, tratamiento y su disposición final, pero se enfrentan a diferentes barreras o desafíos en cada una de estas etapas, que no permiten aprovechar al máximo los RSO para generar valor energético (Bertolucci Paes et al., 2019; Decreto 1077, 2015). De acuerdo con el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), del total de la oferta de residuos sólidos, el 25% se utilizan para cogeneración de energía y otros aprovechamientos, 16,7% reciclado y nueva utilización y 7,7% en otros; el restante llega a la disposición final (DANE, 2022a).

En el país existen 2 sistemas de disposición final: sistemas autorizados y sistemas no autorizados. El primero corresponde al relleno sanitario y celdas de contingencia y el segundo corresponde a celda transitoria y botadero a cielo abierto, que corresponden al

33,4% y generan riesgos para la salud y el ambiente, al no cumplir con la normatividad vigente (Avendaño García et al., 2021; Camelo et al., 2023; Resolución 1045, 2003). El relleno sanitario es la solución técnica de saneamiento básico, resultado de procesos de planeación, diseño, operación y control para la disposición final adecuada de residuos sólidos, pero presenta diferentes problemas al depositar los RSO, pues genera GEI nocivos como el metano que contribuye al calentamiento global, por lo que se requiere cambiar la forma en que se gestionan los RSO, incluyendo tecnología para el aprovechamiento energético (Kharola et al., 2022a; Decreto 1077, 2015).

En 2019 se lanzó la Estrategia Nacional de Economía Circular, en el que se incluye líneas de acción específicas para la gestión de los residuos sólidos en el país, que tienen alto potencial de aprovechamiento. En este documento se evidencia la problemática actual en cuanto a la reutilización o reciclaje que está muy por debajo de lo estimado, como es el caso del biomaterial primario que tiene un 85% de potencial de aprovechamiento, pero solo se reutiliza o recicla el 30%, lo que implica idear un plan detallado para transitar hacia el modelo de EC incluyendo la obtención de infraestructura óptima (MADS, 2019).

### **1.3 Gestión de los residuos sólidos en Bogotá**

Bogotá es la ciudad con mayor población en el país y genera anualmente 3,1 millones de toneladas de residuos, lo que equivale a 8.562,6 toneladas día, de los cuales el 67% se depositan en el Relleno Sanitario Doña Juana (RSDJ), uno de los más grandes a nivel nacional, y el restante (33%) es gestionada por los recicladores de oficio (Camelo, 2022; OAB, 2023a; UAESP, 2022c). Esta cantidad de residuos depositados es el 17,7% del total de residuos en sistemas de disposición final en el país, con repercusiones ambientales como emisiones de metano y dióxido de carbono, olores ofensivos, contaminación atmosférica y de los recursos hídricos (Minsalud, 2012).

En la figura 1-1 se presenta el histórico de toneladas de residuos dispuestos en el Relleno Sanitario Doña Juana, en el que se disponen anualmente 3.2 millones de toneladas anuales de residuos sólidos al RSDJ (6.154,56.500 toneladas diarias) y ha sido creciente en los últimos 10 años, presentando un aumento 402.389 toneladas del 2002 al 2022 que equivale a un aumento de 22.3% (OAB, 2023a). Se han presentado reducciones

significativas en el año 2009, 2015 y 2020, esta última asociada a la pandemia por COVID-19.

**Figura 1-1:** Toneladas de disposición final de residuos sólidos en el Relleno Sanitario Doña Juana



Fuente: elaboración propia, a partir de datos del Observatorio Ambiental de Bogotá (Bogotá, 2023)

La gran cantidad de residuos sólidos que llegan y su deficiente gestión, han ocasionado problemas ambientales alrededor del RSDJ como deslizamientos, el primero ocurrido en 1997 en el que cerca de 500.000 toneladas de residuos se precipitaron obstruyendo al río Tunjuelo contaminando esta fuente hídrica, y recientemente en abril del año 2020 se presentó un nuevo deslizamiento generando fuertes olores en toda la ciudad (El Tiempo, 2020; Semana, 2020b). Es preocupante que el 51,3% de los residuos en el relleno correspondan a RSO, pues por su alto contenido de agua y materia orgánica, se convierte en la principal causa de contaminación, produciendo olores y lixiviados, además de ser un cultivo de mosquitos ratas y hongos (Fei et al., 2022; Jain & Pal, 2020).

De acuerdo con los datos de la consultoría contratada por la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos - UAESP, como se muestra en la tabla 1-1, el 51,3% de los residuos en Bogotá son orgánicos, y tienen una tasa de aprovechamiento del 7,7%, una de las más baja junto con los textiles, respecto a los demás materiales, y es la razón por la cual son el mayor porcentaje de tipo de material que se deposita en el RSDJ

(CONSORCIO NCU- UAESP, 2017; UAESP, 2022d). La baja tasa de aprovechamiento se debe a pocas alternativas de comercialización, pues al observar el mercado los residuos que más se comercializan son el papel y cartón, con el 53%, seguido de los metales con 25%, plásticos con 5% y vidrio con 13% (CONSORCIO NCU- UAESP, 2017) ,lo que demuestra la necesidad de ampliar la inversión en alternativas de aprovechamiento de RSO que permitan valorizar este tipo de residuos para abrir nuevos mercados.

**Tabla 1-1:** Porcentaje de generación por tipo de material y tasa de aprovechamiento

TIPO MATERIAL	% GENERACIÓN	TASA DE APROVECHAMIENTO
Orgánicos	51,32%	7,7%
Plásticos	16,88%	33,2%
RCD	3,87%	14,2%
Celulosa	13,67%	36,0%
Otros	3,36%	0,9%
Textiles	4,54%	4,1%
Vidrio	3,67%	70,3%
Madera	1,6%	10,8%
Metales	1,13%	16,1%

Fuente: elaboración propia, a partir de los datos de (CONSORCIO NCU- UAESP, 2017; UAESP, 2022d) y el Observatorio Ambiental de Bogotá(OAB, 2023a)

Parte de poder valorizar los residuos y cerrar el ciclo de materiales, es necesario identificar la forma de gestionar los RSO, pero es hasta el año 2020 con el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) 2020-2024 que se incluye como un tipo de residuos aprovechable, lo que permitió eliminar los obstáculos a la hora de buscar alternativas eficientes para su gestión (CONPES 3874, 2016). Los RSO contienen los elementos que requieren los suelos degradados para su restauración, la agricultura para su fomento y la posibilidad de generar energía. (UAESP, 2020b). En el PGIRS del año 2020 se menciona la importancia de la gestión de los RSO y algunas posibles alternativas de aprovechamiento, con programas enfocados en la creación de estrategias y realización de estudios para el tratamiento y la valorización. La mayoría de las iniciativas son de pequeña escala y una planta de Biogás en el RSDJ, con capacidad de generación de energía en 1,7 megavatios, suficiente para la demanda de 4.000 hogares, pero corta frente a totalidad de la demanda energética de la ciudad (Bogotá, 2021).

Un adecuado aprovechamiento de los residuos orgánicos trae grandes beneficios por su gran potencial energético, maximización de la utilización de los recursos y la viabilidad económica, con el que se puede producir energías renovables como el biogás o el biometano (Fei et al., 2022; Gupta et al., 2022; R. L. Smith et al., 2015). Así mismo, permite transformar la materia prima para la fertilización, facilita la transición hacia modelos de agricultura ecológica u orgánica, posibilitando disminuir la presión sobre los recursos naturales, aplacar los olores ofensivos que se derivan de su descomposición, permitiendo la consolidación de proyectos productivos alrededor de la producción de abonos y alimentos orgánicos, minimizando así la dependencia externa de fertilizantes, pero principalmente se reduce la cantidad de toneladas de residuos dispuestas en el RSDJ (UAESP & UN, 2014). Los residuos orgánicos también son altamente aprovechables para el sector rural, realizando transformaciones por medio de la tecnología de compostaje que podría mejorar las propiedades del suelo y evitar pérdida de energía, además de ser apoyo económico para los recicladores de oficio y campesinos (Lett, 2014; Pedreño, 1995).

Es necesario fortalecer y aumentar las alternativas para el aprovechamiento de los RSO en la ciudad, que permitan obtener beneficios ambientales, sociales y económicos, en el marco de la EC, valorizándolos y reduciendo la tasa de disposición final en el relleno sanitario. De acuerdo con lo anterior, en el presente trabajo se busca responder a la pregunta: *¿Las alternativas de aprovechamiento de RSO implementadas en Bogotá tienen un enfoque de Economía Circular?*:



## 2. Marco metodológico

En el presente trabajo se utilizó una revisión de literatura a través de la consulta en la base de datos bibliográfica “SCOPUS” con el fin de identificar la producción científica asociada al tema de estudio de la presente tesis, aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en el enfoque de economía circular, por medio de ecuaciones de búsqueda que combinan palabras clave como: “circular economy” junto a otras como “organic waste”, “management” y “review” y también se realizó con “economía circular y residuos orgánicos”, con el fin de obtener insumos para construir el marco teórico

**Tabla 2-1:** Revisión de Literatura en SCOPUS

<b>Categoría</b>	<b>No. artículos</b>	<b>Relacionados con residuos orgánicos</b>
Residuos orgánicos “organic waste”	555	555
Revisión de literatura “review”	4804	146
Aprovechamiento “management”	8710	295
Residuos orgánicos	1	1

Fuente: elaboración propia

Como resultado se obtuvo en total 295 artículos identificando que, aunque desde el año 2010 se tienen artículos, es desde el año 2017 que se aumenta su producción relacionados con el tema de estudio y el 2022 es el año con mayor producción, donde se tiene más del 70% de los artículos. La mayoría de estos tienen como procedencia Italia, España, China y Reino Unido.

Se consulto artículos específicos para Bogotá, pero no se encontró información, por lo que se incluyó la revisión de documentos institucionales como anexos técnicos, guías, CONPES e informes como se relacionan a continuación:

**Tabla 2-2** Documentos institucionales consultados

<b>Tipo de texto</b>	<b>Título</b>	<b>Autor</b>	<b>Año</b>
Informe	Informe Mensual de actividades mayo 2023 PTAR El Salitre.	Acueducto de Bogotá	2023

12 Alternativas para el aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos-RSO en Bogotá: Enfoque de economía circular

Tipo de texto	Título	Autor	Año
CONPES	Política Nacional Para La Gestión Integral De Residuos Sólidos	Departamento de Planeación Nacional	2016
Informe.	Realizar el estudio técnico de la caracterización en la fuente de residuos sólidos generados en la Ciudad de Bogotá Distrito Capital por tipo de generador y establecer el uso de métodos alternativos de transporte para materiales aprovechables.	CONSORCIO NCU-UAESP.	2017
Informe	Economía Circular sexto reporte 2022.	DANE	2022
Documento Técnico	Programa Basura Cero en Bogotá 2023.	OAB	2023
Documento Técnico	Documento Técnico soporte del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos.	UAESP	2022
Documento Técnico	Documento Técnico Soporte del Plan Integral de Residuos Sólidos.	UAESP	2020
Documento Técnico	Modelo de Aprovechamiento	UAESP	2021
Informe	Informe de seguimiento y evaluación del plan de gestión integral de residuos sólidos	UAESP	2022
Informe	Manual de acciones afirmativas para la población recicladora de oficio de la ciudad de Bogotá D.C.	UAESP	2022
Informe	Informe de gestión unidad administrativa especial de servicios públicos-uaesp (2022).	UAESP	2023
Informe	Informe mensual de supervisión, monitoreo y control.	UAESP	2023
Guía técnica	Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura.	UAESP	2014
Informe	Tratamiento de residuos sólidos en el marco del servicio público de aseo.	MAG Consultoría S.A.S	2021

Fuente: elaboración propia

Para el logro del primer objetivo, se consultó literatura relacionada de los factores ambientales, económicos, normativos o sociales que potencializan o limitan la gestión de los RSO en cada una de sus etapas, enfocado en Economía circular y en Bogotá. Al buscar “barriers” and “waste management” AND “circular economy” se encontraron 253 artículos en su mayoría producidos en el año 2023, siendo los países de mayor producción Reino Unido, Australia, Italia, India y Brasil. Al delimitar la búsqueda para los residuos orgánicos

“organic” se obtuvo 20 documentos como el de (Kharola et al., 2022b) en el que enuncia todas las barreras ambientales, técnicas, financieras, culturales y sociales de la gestión de los residuos que fueron el punto de partida para identificar las barreras, así como el artículo de (Gedam et al., 2021) sobre las barreras de la adopción de la economía circular y el artículo de (Ossa-Carrasquilla et al., 2020; Petit-Boix & Leipold, 2018) para revisar la economía circular en ciudades y prácticas locales. Cada una de las barreras y oportunidades identificadas fueron aterrizadas a lo local describiendo la situación en la ciudad con los documentos técnicos consultados fuentes de la UAESP, Secretaría de Ambiente y Desarrollo, el Acueducto, el Departamento Nacional de Planeación y guías técnicas donde se evidenciaba la situación actual de la gestión de los RSO en la ciudad.

Para el logro del segundo objetivo, se consultó la literatura relacionada con el aprovechamiento de los residuos orgánicos con enfoque de Economía circular como se explicó en la tabla 3-1 encontrando las alternativas como la paca biodigestora que permite la degradación biológica de la materia orgánica como fertilizante (Ossa-Carrasquilla et al., 2020). La biodigestión anaeróbica como fuente de energía y como un sistema rentable para la recuperación de bioenergía con beneficios económicos y ambientales (Ampese et al., 2022; Ariza et al., 2018; Colombo & Rodríguez Cuevas, 2020), así como la producción de biogás de diferentes residuos orgánicos (Chusov et al., 2021) y la tecnología waste-to-energy (WTE) como la pastilla de combustible verde para el suministro de calefacción y la codigestión de orgánico (Pan et al., 2015). Por su parte, (Aguilar et al., 2022) evalúa la importancia de las iniciativas locales para la recuperación de recursos de desperdicio orgánico para Latinoamérica, especialmente en el municipio de Chía. Algunos hablan de la importancia de la valorización de residuos agrícolas, como (Chamorro et al., 2022; Cobo et al., 2019) para desarrollar aplicaciones para la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica con enfoque de economía circular y como una oportunidad económica para los actores locales. Por su parte, (Chavan et al., 2022) indica que los residuos orgánicos tienen posibilidad de generación de productos de alto valor como biocombustibles, biopesticidas, biohidrógeno, enzimas y bioplásticos a través de procesos de fermentación microbiana. Se encuentra que hay un potencial de economía circular en los residuos orgánicos urbanos de los países de ingreso bajos y medianos (Ddiba et al., 2022) en el que se aborda la brecha existente al estimar el potencial de recuperación de recursos de los flujos de desechos orgánicos respecto a los países de ingreso alto, con un

enfoque de análisis de flujo de materiales simplificado para rastrear la transformación de los flujos de desechos.

En cuanto a los artículos relacionados con aprovechamiento de residuos orgánicos y economía circular, se encontró el artículo de (Momcilovic et al., 2017) sobre el modelo de gestión de desperdicios orgánicos en la ciudad de Nis en el que el biogás producido se usa como combustible para camiones de recolección y transporte, mientras que el residuo del digestor producido se usa para la fertilización de jardines y parques de la ciudad. Por su parte, se habla de reconstrucción de las áreas urbano y rurales por medio de una digestión anaeróbica seguida de un compostaje enriquecido con lombrices, para producir biometano y humus. (Masullo, 2017) Se encontraron artículos relacionados con el Organic waste management (OWM) para convertirlo en compost con indicadores de Economía Circular (Novelli et al., 2019; Pérez-Piqueres et al., 2018; Rashid & Shahzad, 2021; J. Rincón et al., 2019), opciones de la agricultura urbana y biofertilizantes (AGARWAL et al., 2021; Quilliam et al., 2020). En cuanto a los artículos en español, se encontró un artículo de sobre el aprovechamiento de residuos orgánicos sólidos urbanos para producir biogás (Juárez et al., 2008).

Lo anterior fue el punto de partida para identificar las tecnologías existentes de aprovechamiento y tratamiento de los RSO, pero para identificar las existentes enfocadas en Bogotá, se revisó la literatura mencionada en la Tabla 3-2 donde se encontraban y detallaban cada una de las alternativas, además de páginas oficiales institucionales como la UAESP.gov.co, Bogota.gov.co y el acueducto.com.co.

Finalmente, para el logro del tercer objetivo, se identificaron los criterios a verificar en las alternativas de aprovechamiento de RSO en la ciudad por medio de la revisión de literatura para la definición del concepto de Economía Circular, identificando en la literatura 4 criterios principales que debe tener las alternativas y la gestión de los RSO para el enfoque y posteriormente se analiza cada una de las alternativas identificadas y las barreras y oportunidades de la gestión de los RSO en los 4 criterios.

## 3. Enfoques teóricos, aclaraciones conceptuales y marco legal

### 3.1 Economía Circular

El modelo de economía lineal que se basa en un sistema de extracción, producción y desecho, benefició económicamente a muchas industrias, al fomentar el consumismo por la obsolescencia programada, pero se convirtió en insostenible al agotar el sistema en el que opera, al abastecerse y desechar, impactando negativamente el medio ambiente (Andrews, 2015; Korhonen et al., 2018). Como respuesta, surge la Economía Circular que ha generado gran interés a nivel global, de manera que diferentes disciplinas científicas han aportado ideas para su definición como es el caso de las escuelas de pensamiento de la economía ecológica y la ecología industrial. La EC enfatiza en la inviabilidad de mantener un crecimiento económico exponencial ante la imposibilidad de sustituir perfectamente los recursos, profundizando en el reciclaje de materiales y poniendo límites a la producción de bienes y servicios mediante la conservación y reutilización de recursos (Aguado et al., 2009; Ayres, 1999; Chertow, 2008; Korhonen et al., 2018).

Se introducen nuevos conceptos como el diseño de “*la cuna a la cuna*” que plantea un nuevo metabolismo de flujo de materiales, y la “*economía Cíclica*” en que cada residuo de un proceso se convierte en la materia prima de otro: permitiendo que los ciclos se cierren (Braungart et al., 2007; Riechmann, 2006). Sin embargo, el enfoque de la EC no es reciente, pues ya lo habían introducido Pearce y Turner en 1990 como el sistema en el que tomamos parte de los residuos y los convertimos en recursos (Pearce & Turner, 1990). Esta definición se basó en las contribuciones del libro *The Economics of the Spaceship Earth* de Kenneth Boulding (1966) que veía la tierra como un sistema económico cerrado, así como las contribuciones de Georgescu-Roegen al enfatizar la importancia de la Segunda Ley de la Termodinámica en la economía (Georgescu-Roegen, 1971).

La 2da Ley de la Física o Ley de la Entropía incorpora el análisis económico al preguntarse si hay límites para que el ambiente absorba todos los desechos resultantes de la economía lineal, siendo afirmativa la respuesta, pues no es real que sea un proceso infinito (Georgescu-Roegen, 1971). La entropía es una medida de disponibilidad de la energía: mide la cantidad de energía que ya no se puede aprovechar transformándola en trabajo, es decir que no conserva a lo largo del tiempo las mismas propiedades para crear trabajo útil, una vez que se ha utilizado la energía, por lo que el aprovechamiento de las cualidades de los recursos naturales tiene límites (Hernández Cervantes, 2008; Riechmann, 2015)

La Ley de la Entropía tiene implicaciones económicas que son limitantes para la economía circular, como es la imposibilidad del reciclaje al 100%, pues siempre se requerirá de energía para realizarlo y hay una parte que se pierde, generando desechos y productos secundarios, por lo que el cierre de ciclos bajo la luz de la segunda ley es imposible (Korhonen et al., 2018). Es importante precisar que un flujo cíclico no asegura un resultado sostenible, por ejemplo, en la utilización de los residuos forestales de los cortes como fuente de energía renovable y para sustituir la quema de combustibles fósiles, se eliminan las partes ricas en nutrientes del ecosistema forestal que apoyarían a la salud del ecosistema, biodiversidad y crecimiento, por lo que se debe revisar con mayor detenimiento las alternativas de la EC (Korhonen et al., 2001). De acuerdo con lo anterior, en la EC no solo se introduce el reciclaje sino también la reutilización, remanufactura y reacondicionamiento de productos, que deberían ser las primeras opciones deseables a la luz de la termodinámica antes del reciclaje, principalmente en los RSO que antes de la transformación a combustibles, donde se pierde el valor nutritivo, se opte por el uso de los ciclos existentes de la naturaleza. (Korhonen et al., 2018).

A nivel mundial se han implementado definiciones de la EC en políticas de países como China, Japón, Reino Unido, Francia, Canadá, Países Bajos, Suecia y Finlandia (Korhonen et al., 2018). China fue el primer país en adoptar el concepto, con la Ley para la EC en 2008, como respuesta para superar el dilema entre la depresión económica, la escasez de energía y la contaminación ambiental (Wu et al., 2014). También la Unión Europea, en el año 2015 implementa el *Plan de Acción de la UE para la Economía Circular* con el propósito de lograr una economía sostenible y eficiente en el uso de recursos, donde

el valor de los productos, materiales y recursos se mantengan en la economía (COM, 2015).

En la construcción del enfoque de la EC han participado gobiernos, empresarios y académicos con diferentes contribuciones, como es el caso de la fundación Ellen MacArthur (EMAF), que define la EC como el sistemas de producción y consumo que promuevan la eficiencia en el uso de materiales, agua y energía teniendo en cuenta la capacidad de recuperación de los ecosistemas, el uso circular de los flujos de materiales y la extensión de la vida útil a través de la implementación de la innovación tecnológica, alianzas y colaboraciones entre actores y el impulso de modelos de negocio que responden a los fundamentos del desarrollo sostenible (EMAF, 2013).

Esta definición es retomada por Korhonen, Honkasalo, et al (2018), quienes a partir de las dimensiones del desarrollo sostenible (económica, ambiental y social), definen la EC como una economía construida a partir de **sistemas sociales de producción-consumo** que maximiza el servicio producido a partir del **flujo lineal de producción de energía y materiales naturaleza-sociedad-naturaleza**. Esto se hace mediante el uso de **flujos de materiales cíclicos, fuentes de energía renovables y flujos de energía en cascada**. Según estos autores la EC restringe la salida de fabricación a una altura que el ambiente soporta y maneja los períodos de los medios en los ciclos económicos respetando sus tasas de reproducción naturales (Korhonen et al., 2018).

Por su parte, Figge et. al., 2023 realiza un análisis de la definición a partir de características necesarias y suficientes que deben tener el concepto de EC como es: circuitos de recursos cerrados, lo que niega la necesidad de utilizar recursos vírgenes; la optimización de los flujos de recursos y su dirección; distribuir en al menos dos niveles complementarios que siguen cada uno una lógica diferente; e incluir las leyes de la termodinámica y la inevitabilidad del error humano, por lo que es poco probable que surja una circularidad de recursos 'perfecta' (Figge et al., 2023). Por lo anterior, se define la EC como un sistema **de uso de recursos de múltiples niveles** que estipula el cierre completo de todos los ciclos de recursos. **El reciclaje y otros medios que optimizan la escala y la dirección de los flujos de recursos** contribuyen a la economía circular como prácticas y actividades de apoyo. Además, de que por las leyes de la termodinámica **es inevitable cierto uso de recursos vírgenes** (Figge et al., 2023).

### **3.1.1 Criterios de definición de la EC**

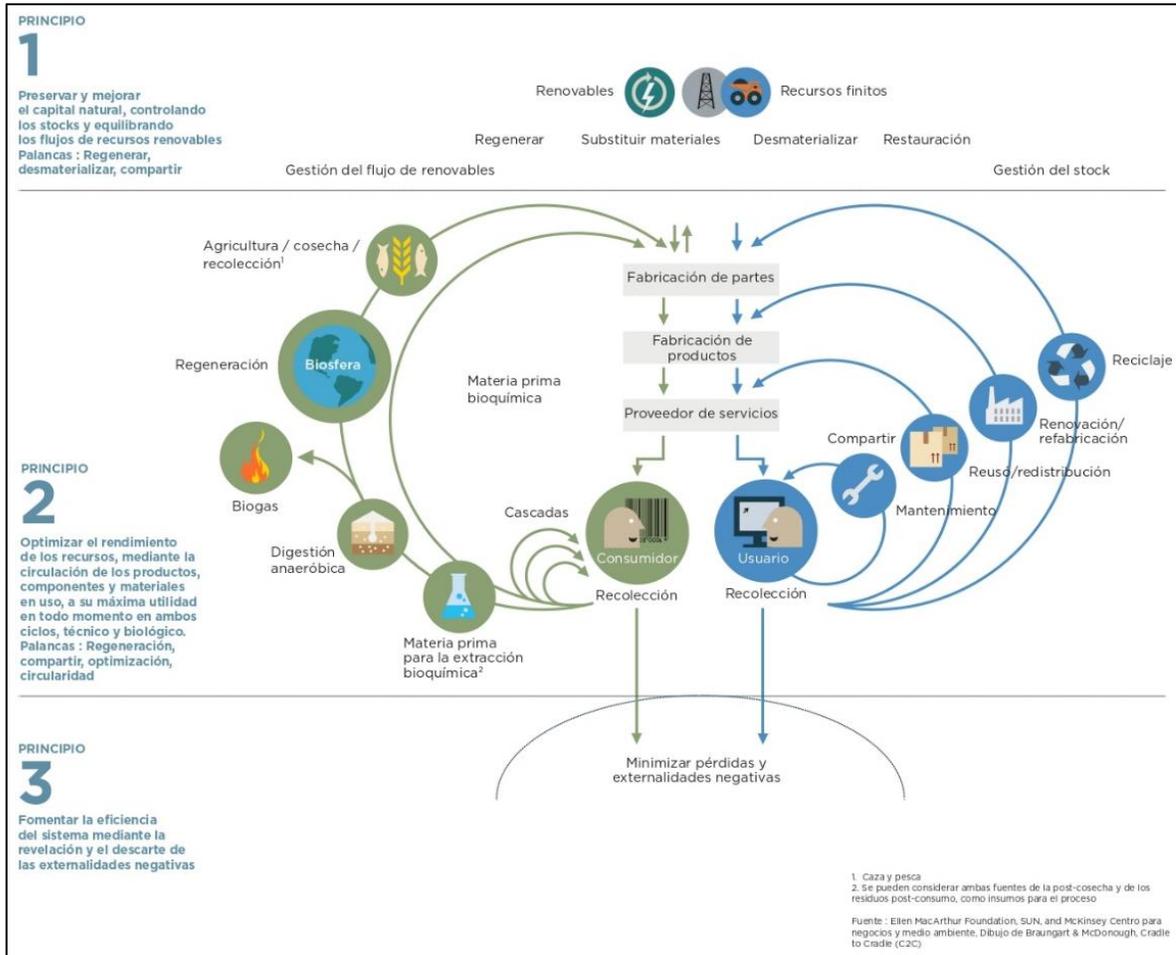
Luego de revisar cada una de las definiciones de EC se puede verificar que comparten aspectos con los que se puede basar el enfoque del presente trabajo y que son los criterios de análisis de las alternativas

1. Sistemas de producción y consumo que maximicen la eficiencia de los materiales y la energía y el uso de recursos de múltiples niveles.
2. Uso circular de los flujos de materiales, fuentes de energía renovables y flujos de energía en cascada, que extiendan la vida útil de los materiales.
3. Implementación de la innovación tecnológica, alianzas y colaboraciones entre actores y el impulso de modelos de negocios, complementadas con actividades de apoyo como el reciclaje y otros medios que optimizan la escala y la dirección de los flujos de recursos.
4. Reducción en el uso de materiales vírgenes, ya que no se puede cerrar totalmente el ciclo; minimizando al máximo los residuos del sistema. (EMAF, 2013; Figge et al., 2023; Korhonen et al., 2018)

### 3.1.2 Principios de la Economía Circular

La EC se rige bajo 3 principios que son implementados por la EMAF, como se describen en la figura 2-1 a continuación:

**Figura 3-1:** Sistema Economía Circular



Fuente: imagen tomada de (EMAF, 2016)

- **Principio 1:** Preservar y mejorar el capital natural controlando reservas finitas y equilibrando los flujos de recursos renovables, por medio de la regeneración y en lugar de degradar continuamente la naturaleza, construimos capital natural (EMAF, 2016, 2023).

- **Principio 2:** Optimizar el rendimiento de los recursos asignando productos, componentes y materiales con el máximo beneficio en cada momento, tanto en ciclos técnicos como biológicos. Ve un diagrama de mariposa que muestra el flujo continuo de materiales en una EC. Hay dos ciclos principales: ciclo técnico y ciclo biológico. En el período experimentado, los productos y materiales se conservan en movimiento a través de métodos como reaprovechamiento, resarcimiento, transformación y reutilizamiento. En el ciclo biológico, los nutrientes de los materiales biológicos se devuelven a la tierra para restaurar la naturaleza. En este proceso, los RSO pueden ser aprovechados con la extracción de nutrientes a través del compostaje o la digestión anaeróbica (DA), producidos a partir de la energía devuelta al sistema, productos postcosecha o residuos posconsumo (EMAF, 2016, 2023).
- **Principio 3:** Incrementar la eficiencia del sistema identificando y eliminando los efectos negativos del diseño; H. Disminución de restos y contaminación. Los alimentos y otros materiales biológicos que son seguros para regresar a la naturaleza pueden regenerar la tierra, impulsando la producción de nuevos alimentos y materiales (EMAF, 2016, 2023).

Con estos principios se cumple el cierre de ciclos en los ecosistemas industriales y se minimizan los desperdicios, cambiaría la lógica económica porque reemplaza la producción por la suficiencia: reutiliza lo que se puede, recicla lo que no se puede reutilizar, repara lo que está roto, remanufactura lo que no se puede reparar, permitiendo con la EC reducir las emisiones de GEI hasta en un 70 % (Stahel, 2016).

### **3.2 Marco normativo de la economía circular en Colombia**

Colombia ha expedido diferentes normas de carácter legal y reglamentario, además de las políticas públicas en materia de gestión de RSO y de economía circular, como se muestra a continuación:

### 3.2.1 Normas de rango legal

A continuación, se presentan las normas de rango legal relacionadas con la gestión de residuos sólidos orgánicos y la economía circular:

**Tabla 3-1:** Normas de rango legal de la economía circular

Ley	Contenido
<b>Ley 99 de 1993</b>	“Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones”
<b>Ley 142 de 1994</b>	“Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones”. Esta ley establece el marco para la gestión integral de residuos sólidos en Colombia. Promueve la adopción de estrategias de economía circular, el fortalecimiento de la gestión pública y comunitaria de los residuos, y la responsabilidad compartida entre los diferentes actores involucrados.
<b>Ley 1259 de 2008</b>	<p>“Por medio de la cual se instaura en el territorio nacional la aplicación del comparendo ambiental a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros; y se dictan otras disposiciones”,</p> <p>Se crea el comparendo ambiental para el manejo de los residuos sólidos y escombros y se le da responsabilidad a las Alcaldías y los Concejos y los recursos son destinados a <i>“los dineros recaudados por concepto de multas correspondientes al Comparendo Ambiental deberán ser destinados a financiar programas y campañas cívicas de Cultura Ciudadana dirigidos a sensibilizar, educar, concienciar y capacitar a la comunidad y a las personas dedicadas a la actividad del reciclaje, sobre el adecuado manejo de los residuos sólidos (basuras y escombros), como también a programas de limpieza de vías, caminos, parques, quebradas y ríos”</i></p>
<b>Ley 1715 de 2014</b>	“Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional”
<b>Ley 2099 de 2021</b>	<p>“Por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país y se dictan otras disposiciones”</p> <p>Específicamente en el artículo 20 incluye <i>“El Ministerio de Minas y Energía podrá incentivar el <b>desarrollo e investigación de energéticos que provengan de fuentes orgánicas (origen animal o vegetal) o renovables, con el fin de expedir la regulación que permita incluirlos dentro de la matriz energética nacional y fomentar el consumo de estos en la</b></i></p>

Ley	Contenido
	<i>cadena de distribución de combustibles líquidos o incluso la promoción de otros usos alternativos de estos energéticos de última generación</i>
<b>CONPES 3874</b>	<b>Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos.</b> “Se compone de cuatro ejes estratégicos. El primer eje busca adoptar medidas encaminadas hacia (i) la prevención en la generación de residuos; (ii) la minimización de aquellos que van a sitios de disposición final; (iii) la promoción de la reutilización, aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos; y (iv) evitar la generación de gases de efecto invernadero. Como complemento, el segundo eje apunta a mejorar la cultura ciudadana, la educación e innovación en gestión integral de residuos sólidos para incrementar los niveles de separación en la fuente, de aprovechamiento y de tratamiento”
<b>Estrategia Nacional de Economía Circular</b>	La Estrategia Nacional de Economía Circular introduce lineamientos para fortalecer el modelo de desarrollo económico, ambiental y social del país, a partir de la lógica de “producir conservando y conservar produciendo”.

### 3.2.2 Normas de rango reglamentario de orden Nacional

A continuación, se presentan las normas de rango reglamentario relacionadas con la gestión de residuos sólidos orgánicos y la economía circular:

**Tabla 3-2:** Normas de rango reglamentario de la economía circular de orden Nacional

Norma reglamentaria	Contenido
<b>Decreto Nacional 2811 de 1974</b>	<p>Se expide el <i>Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente</i>.</p> <p>El <i>literal l) del artículo 8</i> señala como uno de los factores que deteriora el medio ambiente a “[l]a <i>acumulación o disposición inadecuada de residuos, basuras, desechos y desperdicios</i>”.</p> <p>“<i>Artículo 34. En el manejo de residuos, basuras, desechos y desperdicios, se observarán las siguientes reglas:</i></p> <p>a). <i>Se utilizarán los mejores métodos, de acuerdo con los avances de la ciencia y la tecnología, para la recolección, tratamiento, procesamiento o disposición final de residuos, basuras, desperdicios y,</i></p>

Norma reglamentaria	Contenido
	<i>en general, de desechos de cualquier clase; b). La investigación científica y técnica</i>
<b>Decreto Nacional 605 de 1996</b>	Reglamenta la Ley 142 de 1994 en relación con la prestación del servicio público domiciliario de aseo. Su <i>artículo 3</i> estipula que son principios básicos para la prestación de este servicio <i>desarrollar una cultura de la no basura y minimizar el impacto ambiental de la producción de residuos sólidos</i> . Además, su <i>artículo 10</i> estipula que los municipios y distritos deben establecer un programa para el manejo de los residuos sólidos que incluya aspectos como: (i) <i>estrategias encaminadas a la formación de una cultura de minimización en la producción de residuos sólidos y al estímulo e implementación de la separación en la fuente y el aprovechamiento de estos</i> ; y (ii) <i>planes tendientes a minimizar y mitigar el impacto ambiental del tratamiento y la disposición final</i> .
<b>Decreto Nacional 838 de 2005</b>	Consagra las disposiciones normativas que regulan la planificación, construcción y operación de los sistemas de disposición final de residuos sólidos mediante la tecnología de relleno sanitario, así mismo, establece el procedimiento que deben seguir las entidades territoriales para definir las áreas potenciales para su ubicación.
<b>Decreto Nacional 3695 de 2009</b>	Reglamenta el formato, la presentación y el contenido del <i>comparendo ambiental</i> , creado por la Ley 1259 de 2008, como también establece los lineamientos generales para que las autoridades distritales lo impongan por la comisión de una infracción sobre aseo, limpieza y recolección de residuos sólidos.
<b>Decreto Nacional 2981 de 2013</b>	Reglamenta la prestación del servicio público de aseo. En su <i>artículo 2</i> define la gestión integral de los residuos sólidos como: <i>“el conjunto de actividades encaminadas a reducir la generación de residuos, a realizar el aprovechamiento teniendo en cuenta sus características, volumen, procedencia, costos, tratamiento con fines de valorización energética, posibilidades de aprovechamiento y comercialización. También incluye el tratamiento y disposición final de los residuos no aprovechables”</i> .  Adicionalmente, su <i>artículo 3</i> estipula que son principios básicos para la prestación del servicio de aseo: <i>desarrollar una cultura de la no basura, fomentar el aprovechamiento, así como minimizar y mitigar el impacto en la salud y el ambiente que pueda causar la generación de residuos sólidos</i> . A su vez, su <i>artículo 6</i> establece que la prestación eficiente del servicio público de aseo es responsabilidad de los distritos y municipios.
<b>Decreto Nacional 1077 de 2015</b>	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio."

Norma reglamentaria	Contenido
<p><b>Decreto 596 de 2016</b></p>	<p><b>Decreto 596 de 2016 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.</b> Modifica el Decreto 1077 de 2015, definiendo la actividad de aprovechamiento del servicio público de aseo y la transición para la formalización de los recicladores de oficio. En el <i>artículo 2.3.2.5.2.1.3.</i> se indica la importancia de implementar <i>campañas educativas para concientizar a los usuarios sobre el reciclaje, el reusó, el aprovechamiento y la adecuada presentación de los residuos aprovechables en el PGIRS.</i></p> <p>En el <i>artículo 2.3.2.5.5.1.</i> las entidades territoriales tienen la responsabilidad de incluir dentro del “programa de inclusión de recicladores” de su PGIRS “<i>un proyecto de capacitación a los recicladores de oficio</i>”, que comprenda el “<i>asesoramiento técnico y operativo para el manejo de residuos aprovechables, generación de valor de estos y su incorporación en las cadenas productivas</i>”.</p>
<p><b>Decreto 802 de 2022</b></p>	<p><b>Decreto 802 de 2022 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.</b> Se reglamenta el <i>Incentivo al Aprovechamiento y Tratamiento de Residuos Sólidos (IAT)</i>, creado por el artículo 88 de la Ley 1753 de 2015.</p>
<p><b>Resolución 1045 de 2003</b></p>	<p><b>Resolución 1045 de 2003 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.</b> Define la metodología para que los municipios y distritos elaboren los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS).</p>
<p><b>Resolución 754 de 2014</b></p>	<p><b>Resolución 754 de 2014 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible</b> Adopta la metodología de formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS).</p>

### 3.2.3 Normas de rango reglamentario de orden Distrital

Se cuenta con diferentes normas de reglamentación a nivel distrital relacionadas con la economía circular como se mencionan a continuación:

**Tabla 3-3:** Normas de rango reglamentario de la economía circular de orden Distrital

Norma reglamentaria	Concepto
<b>Acuerdo Distrital 18 de 2000</b>	<i>“Por el cual se implementa en Bogotá, D.C., un programa educativo para el manejo integral de residuos sólidos domésticos y se dictan otras disposiciones”, dirigido por el alcalde Mayor, la Secretaría Distrital de Educación, la Secretaría Distrital de Ambiente y la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos Domiciliarios (UAESP)</i>
<b>Acuerdo Distrital 61 de 2002</b>	<i>“Por el cual se promueve la implementación de talleres permanentes para el aprendizaje de prácticas de reciclaje dentro de una cultura de gestión integral de residuos sólidos”</i>
<b>Acuerdo Distrital 114 de 2003</b>	Se impulsa el aprovechamiento eficiente de los residuos sólidos producidos entidades del distrito.  <i>“ARTÍCULO PRIMERO: Las Entidades del Distrito Capital deberán impulsar la sensibilización, capacitación, inducción, práctica y formación de los servidores públicos, en el manejo adecuado de los residuos sólidos para su aprovechamiento”.</i>
<b>Decreto Distrital 400 de 2004</b>	<i>“Por el cual se impulsa el aprovechamiento eficiente de los residuos sólidos producidos en las entidades distritales”</i>
<b>Decreto Distrital 312 de 2006</b>	Se adopta el <i>Plan Maestro para el Manejo Integral de los Residuos Sólidos (PMIRS) en Bogotá.</i>  <i>“Artículo 4. Objetivos Estructurales. Este Plan se orienta a lograr los siguientes objetivos estructurales:</i>  <i>1. Incorporar en los ciudadanos del Distrito Capital y de los municipios de la Región con los cuales se concertó el plan, una cultura de la minimización y separación en la fuente de los residuos, de su aprovechamiento productivo con base en la comprensión de los impactos positivos de estas prácticas en el ambiente natural, en la salud y en el espacio público construido.</i>  <i>2. Lograr las mayores economías de escala, los mejores índices de eficiencia, competitividad y productividad y el menor impacto ambiental y social en la prestación del Servicio Público de Aseo para reducir los costos por usuario.</i> <i>[...]”.</i>
<b>Acuerdo Distrital 287 de 2007</b>	<i>“Por el cual se establecen lineamientos para aplicar las acciones afirmativas que garantizan la inclusión de los recicladores de oficio en condiciones de pobreza y vulnerabilidad en los procesos de la gestión y manejo integral de los residuos sólidos”</i>

Norma reglamentaria	Concepto
<p><b>Acuerdo Distrital 344 de 2008</b></p>	<p>“ARTÍCULO 1º. La Administración Distrital diseñará y ejecutará un programa de aprovechamiento y reutilización de los residuos sólidos orgánicos de origen urbano, teniendo en cuenta, entre otros objetivos, <u>el de prevenir, mitigar y disminuir gradualmente el volumen de disposición de los residuos sólidos en el Relleno Sanitario de Doña Juana</u>” (subrayado fuera del texto original).</p> <p>“ARTÍCULO 3º. El diseño y ejecución del programa de que se trata estarán, además, orientados por los siguientes propósitos: [...] 7. Promover la reincorporación de los residuos sólidos orgánicos al ciclo económico y productivo. [...] 11. Promover la investigación de nuevas tecnologías para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos”.</p>
<p><b>Acuerdo Distrital 391 de 2009</b></p>	<p>“Se dictan lineamientos para la formulación del Plan Distrital de Mitigación y Adaptación al cambio climático y se dictan otras disposiciones“ y se establece lineamientos relacionados con la EC:</p> <p>e. Generación de nuevos hábitos, consumo y promoción de renovación tecnológica. [...] k. Minimización, separación en la fuente y aprovechamiento de los residuos sólidos. [...]”.</p>
<p><b>Acuerdo Distrital 417 de 2009, modificado por el Acuerdo Distrital 515 de 2012</b></p>	<p>Que tiene como finalidad:</p> <p>“Aplicar los instrumentos legales y normativos en el Distrito Capital para el Comparendo Ambiental como instrumento de cultura ciudadana, sobre el adecuado manejo de residuos sólidos y escombros, previendo la afectación del medio ambiente y la salud pública, mediante sanciones pedagógicas y económicas a todas aquellas personas Naturales o Jurídicas, que infrinjan la normatividad existente en materia de residuos sólidos, así como propiciar el fomento de estímulos a las buenas prácticas ambientalista”</p>
<p><b>Decreto Distrital 456 de 2010</b></p>	<p>“Por el cual se complementa el Plan Maestro para el Manejo Integral de Residuos Sólidos (Decreto Distrital 312 de 2006), mediante la adopción de las normas urbanísticas y arquitectónicas para la implantación y regularización de bodegas privadas de reciclaje de residuos sólidos no peligrosos, no afectas al servicio público de aseo, en el Distrito Capital”</p>

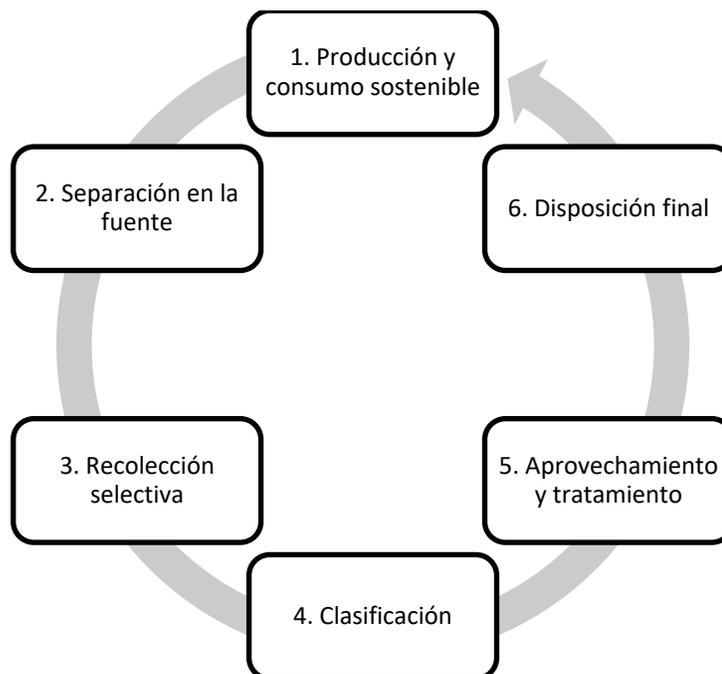
<b>Norma reglamentaria</b>	<b>Concepto</b>
<b>Acuerdo Distrital 473 de 2011</b>	<i>“Se establece el programa puntos ecológicos, con el fin de promover la separación en la fuente de los residuos sólidos para su reciclaje, aprovechamiento y disposición final.”</i>
<b>Acuerdo Distrital 540 de 2013</b>	<i>“Por medio del cual se establecen los lineamientos del programa distrital de compras verdes y se dictan otras disposiciones” y se realiza “el proceso mediante el cual las autoridades tratan de adquirir bienes, servicios y obras con un impacto ambiental reducido durante todo su ciclo de vida en comparación con los bienes, servicios y obras con la misma función principal que normalmente se hubiera adquirido”.</i>
<b>Acuerdo Distrital 726 de 2018</b>	<i>“Por medio del cual se implementan medidas que promuevan la cultura de la gestión de residuos sólidos en el Distrito Capital” En el que los artículos 2 y 3 establece que la Administración Distrital le debe exigir a los organizadores disponer de los elementos para la gestión de los residuos, así como presentar un Plan de Manejo de Residuos Sólidos.</i>
<b>Acuerdo Distrital 790 de 2020</b>	<i>“por el cual se declara la emergencia climática en Bogotá D.C., se reconoce esta emergencia como un asunto prioritario de gestión pública, se definen lineamientos para la adaptación, mitigación y resiliencia frente al cambio climático y se dictan otras disposiciones”</i>
<b>Acuerdo Distrital 830 de 2021</b>	<i>“por el cual se establecen los factores de subsidio y los factores de aporte solidario para los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo en Bogotá, Distrito Capital, para el periodo 2022- 2026”</i>
<b>Decreto Distrital 555 de 2021</b>	<i>“Por el cual se adopta la revisión general del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C.” En la sección 4 están las disposiciones referentes al “Sistema de Infraestructuras para la Gestión Integral de Residuos”, que según su artículo 187 “[r]esponde a las necesidades de recolección, transporte, aprovechamiento, tratamiento y fortalecimiento de las cadenas de gestión de residuos en el Distrito Capital, en el marco del concepto de economía circular y de desarrollo urbano sostenible”</i>
<b>Decreto Distrital 203 de 2022</b>	<i>“establecer las directrices, medidas, plazos y acciones administrativas a implementar para realizar progresivamente el traslado de la actividad económica de bodegas privadas de reciclaje y definir acciones relacionadas con el área mínima de las Estaciones de Clasificación y Aprovechamiento”</i>



## 4. Descripción de la gestión de los Residuos Sólidos Orgánicos – RSO

La gestión integral de los residuos sólidos es el conjunto de actividades encaminadas a reducir su generación, a realizar el aprovechamiento teniendo en cuenta sus características, volumen, procedencia, costos, tratamiento con fines de valorización energética, posibilidades de aprovechamiento y comercialización, que también incluye el tratamiento y disposición final de los residuos no aprovechables (Decreto 1077, 2015). La gestión de los residuos sólidos comprende diferentes etapas: 0) producción y consumo sostenible, 1) generación y separación en la fuente, 2) recolección selectiva, 3) clasificación, 4) aprovechamiento, 5) tratamiento y disposición final (CONPES 3874, 2016), como se evidencia en la imagen a continuación:

**Figura 4-1:** Fases de la gestión de residuos sólidos – Economía Circular



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la (UAESP, 2023a)

Para la gestión de los RSO se implementan las mismas fases anteriormente descritas, pero se requiere superar diferentes desafíos en varias áreas, como la recolección, el transporte y la disposición final, además de una excelente infraestructura urbana para su operación y mantenimiento (Bertolucci Paes et al., 2019). En el presente capítulo se realiza un diagnóstico de los diferentes factores ambientales, técnicos, normativos, culturales y económicos que potencializan o limitan la gestión de los RSO en Bogotá en cada una de sus fases, esto con el fin de tener un panorama más claro sobre las oportunidades y/o debilidades que actualmente tiene el sistema de gestión.

## **4.1 Generación y separación en la fuente**

La generación de los RSO en Bogotá es del 51,3% y del total de residuos aprovechados, solo se recicla el 7,7% teniendo un potencial mayor de aprovechamiento (CONSORCIO NCU-UAESP, 2017; OAB, 2023a; UAESP, 2022d). La generación de los RSO es principalmente de los hogares con el 77,2% de participación, pero también provienen de restaurantes, plazas de mercado, hoteles y/o industrias, y estos pueden ser resultantes de los desechos de comida a la hora de cocinar los alimentos o aquellos que tiran los clientes por exceso o caducidad, resultado de la sobreproducción, la mala gestión y el comportamiento derrochador (Kharola et al., 2022a; Decreto 1077, 2015). En Bogotá se desperdicia 37.5% de los alimentos del país, que equivale a 1,3 millones de toneladas que es generado principalmente por los hogares, por lo que es necesario revisar campañas educativas para prevenir la compra excesiva de alimentos que, al no ser usados, resultan siendo desperdiciados, y que además al no tener una buena gestión, es difícil cerrar el ciclo de materiales (La República, 2022; Mirabella et al., 2014).

Una vez se ha generado el residuo, este debe pasar por un proceso de separación en la fuente, en los lugares donde son generados, es decir, la clasificación de los residuos en aprovechables y no aprovechables para su recolección y transporte a las estaciones de clasificación y aprovechamiento, o de disposición final (Decreto 1077, 2015). De acuerdo con el CONPES 3874, en el país la separación en la fuente es insuficiente y no garantiza un mayor aprovechamiento o tratamiento de residuos sólidos, pues presenta diferentes barreras. La primera es que los residuos se disponen de forma mezclada, en Bogotá tan solo el 69,8% de los hogares clasifican las basuras, lo que resulta en la contaminación de los residuos aprovechables, dificultando la separación para los operadores de oficio, la

recolección selectiva y reduciendo las posibilidades de reciclar los elementos que resultan en el relleno sanitario (CONPES 3874, 2016; DANE, 2022b; Kharola et al., 2022a).

En segundo lugar, la ausencia de instalaciones adecuadas para la separación en la fuente afecta la motivación de los usuarios a separar los residuos, pues la mayoría de los ciudadanos que están dispuestos a hacerlo solo lo harán si tienen fácil acceso a los eco puntos (Celestino et al., 2022; Kumar et al., 2017). En Bogotá la UAESP ha identificado 743 puntos críticos, lugares en los que no se dispone adecuadamente los residuos, la mayoría concentrados en la localidad de Engativá (156), Kennedy (77), Bosa (61) y Suba (58), lo que genera una carga económica entre mantenimiento y recolección un promedio de 17.000 millones de pesos al año (UAESP, 2020c). Tener una buena separación en la fuente permite minimiza la contaminación del aire, el agua y la tierra al reducir problemas como la creación de olores y las emisiones de gases (Kharola et al., 2022a)

Otra problemática, es la falta de cultura o conocimiento a la hora de realizar la separación en la fuente de los residuos, pues dos de cada tres personas en Bogotá no han recibido formación acerca de cómo realizarlo, lo que conlleva al desconocimiento del del proceso de gestión de RSO, falta de información sobre los sitios de disposición, fallas en la forma de realizar la separación y envío de los RSO en el RSDJ (Kharola et al., 2022b; UAESP, 2020b). La educación es uno de los factores más importantes para una adecuada separación de los RSO, por el conocimiento que deben tener los ciudadanos y líderes municipales sobre los impactos de los sistemas de gestión de residuos (Guerrero et al., 2013). El 40% de los hogares en el país manifiesten clasificar los residuos, pero dicen desconocer la forma de separación de los RSO que se debe a factores como; no encontrar donde disponerlos, porque en los camiones de recolección se mezclan todos los residuos, el cambio de la normatividad de clasificación en el país y que hasta el año 2020 se incluyeran los RSO en el PGIRS, por lo que anteriormente no habían programas, proyectos y estrategias específicas que permitieran capacitar a la ciudadanía (DNP et al., 2022; Knickmeyer, 2020; UAESP, 2021b).

Con el fin de aumentar la separación en la fuente, se han adoptado normas de carácter legal y reglamentarias en el país, que dictan los lineamientos para realizarla, como la Política Nacional para la Gestión Integral De Residuos Sólidos, el Decreto 596 de 2016 y el Acuerdo Distrital 114 de 2003. Se crea el Incentivo a la separación en la fuente (DINC) por medio de un descuento de hasta el 4% para los usuarios del servicio público de aseo

de las macro rutas de recolección de residuos aprovechables que tengan niveles de rechazo inferiores al 20% de los residuos presentados en la bolsa blanca, que se reflejará en la factura de servicio público de aseo (Decreto 596, 2016). En Bogotá, de acuerdo con el Sistema Único de Información (SUI) se han efectuados desde el año 2016 a 2023, 150.000 registros de usuarios beneficiarios de este incentivo realizada en su mayoría por asociación de recicladores como se detalla a continuación:

**Tabla 4-1:** Suscriptores beneficiarios del incentivo de separación en la fuente-DINC Bogotá 2018 - 2023

EMPRESA	2018	2019	2020	2021	2022	TOTAL
Arcanas trading co E.S.P SAS CI			48	42		90
Asociación Asoecovida			50	46		96
Asociación cooperativa de recicladores de Bogotá		1034	3102	1034		5170
Asociación de recuperadores MYM universal		4026	18266	13558	4710	40560
Asociación entidad medioambiental de recicladores		12626	15523			28149
Asociación recuperadores del reciclaje roca verde			2526	4201	8398	15125
Ekoplanet S.A.S. E.S.P.	496	3777	13803	14440	5664	38180
Logirec SAS				15051		15051
Reciclamos gestores ambientales S.A.S			7579			7579
<b>TOTAL</b>	<b>496</b>	<b>21463</b>	<b>60897</b>	<b>48372</b>	<b>18772</b>	<b>150000</b>

Fuente: elaboración propia. Datos del Sistema Único de Información (SUI). (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2023)

La cantidad de suscriptores al incentivo corresponde a tan solo el 5,1% de los hogares Bogotanos, calculado con cifras del DANE, lo que evidencia la necesidad de ampliar la pedagogía sobre como acceder al incentivo, para así fomentar la separación en la fuente de los hogares, pero lastimosamente este incentivo no aplica para la recolección de los RSO (DANE, 2020; Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2023). En la *Guía para la separación en la fuente 2022* se detalla cómo debe realizarse la clasificación de los residuos, que incluye también la explicación del Código Nacional de Colores, en el que los residuos orgánicos susceptibles de tratamiento se disponen en la bolsa verde para identificar su recolección (Resolución No. 2184, 2019). La Secretaria

Distrital de Ambiente (SDA) lanzó la estrategia “La Basura no es Basura” en el año 2021, con la que buscaba promover el aprovechamiento de residuos a través de la pedagogía, y con la que da una explicación de la clasificación de los residuos en las bolsas, para el caso de los RSO la bolsa verde se está recolectando de manera selectiva únicamente en Usaquén y Ciudad Bolívar, lugares donde se encuentran las plantas piloto de RSO, pero no se hace la recolección de las bolsas verdes en las demás localidades restantes lo que desestimula la separación y lleva a disponer los RSO en el RSDJ (Ramirez, 2021; UAESP, 2023a).

Dentro del PGIRS de Bogotá 2020-2026 se incluyen programas que pretenden contrarrestar la falta de comunicación y crear sinergia entre entidades competentes en la gestión integral de residuos sólido, principalmente para la separación en la fuente de los RSO como el proyecto de *articulación e Implementación de estrategias de cultura ciudadana para la adecuada gestión de los residuos orgánicos por parte de los usuarios del servicio público de aseo*, con la que se realizaron campañas de sensibilización sobre la adecuada separación en la fuente de los RSO en zonas aledañas a las plantas pilotos de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos (UAESP, 2022a, 2023a). Si no se acompaña la recolección de los RSO con un incentivo como el DINC, las medidas no serán suficientes para incentivar la separación en la fuente de los RSO, y esto se debe, además a que son residuos difíciles de almacenar por separado por lo olores que se genera, por lo que debe planearse aumentar las frecuencias en los sistemas de recolección para incentivar la clasificación (Celestino et al., 2022; UAESP, 2020b).

## 4.2 Recolección y transporte

La separación en la fuente influye directamente en la actividad de recolección y transporte, que consiste en llevar los residuos hasta las estaciones de clasificación y aprovechamiento o sitio de disposición final, que puede ser por medio de recolección puerta a puerta o en los contenedores dispuestos por toda la ciudad (Decreto 1077 de 2015, 2015). En Bogotá si bien varias empresas formales de recolección realizan esta labor, y cubren el 100% del área urbana utilizando vehículos como camiones adecuados para la recolección, también una fracción de los residuos es recolectada de manera informal por los recicladores de oficio, en específico los residuos aprovechables (bolsa blanca), que son llevados a las 14 Estaciones de Clasificación y Aprovechamiento (ECA), pero en esta no se realiza la clasificación de los RSO al no tener la tecnología apropiada,

por su parte son llevados a plantas de tratamiento o al relleno sanitario (CONSORCIO NCU- UAESP, 2017; UAESP, 2023a).

Las actividades de recolección presentan diferentes barreras que no permiten aumentar las toneladas de residuos aprovechables, como son los sistemas inadecuados de recolección en contenedores, la falta de cultura o información a la hora de separar los residuos (Kharola et al., 2022b). En Bogotá desde el año 2017 con el contrato de la prestación de servicio de aseo en la ciudad, definió realizar la instalación de contenedores, previa solicitud de los recicladores de oficio o de los usuarios (Pliegos de la Licitación UAESP No.002 de 2017). A la fecha, a pesar de que se han instalado 10.000 contenedores para colocar los residuos, de los cuales, 5.000 son de tapa blanca para colocar material limpio y seco, ninguno de estos contenedores es específicos para la separación y recolección de los RSO (UAESP, 2018). Lo anterior, conlleva a la mezcla de materiales aprovechables secos con los RSO, dificultando su recolección. (Guerrero et al., 2013).

A pesar de que tener contenedores es una solución para incentivar la separación y facilitar la recolección y transporte de los residuos, estos han presentados daños y han sido usados para que los habitantes de calle puedan dormir (Semana, 2022). Como solución la UAESP a finales de 2022 instaló 30 contenedores soterrados, pocos respecto a la cantidad de hogares que habitan en la ciudad, para que el depósito de residuos quede bajo tierra, con el objetivo de reducir malos olores o el rebosamiento de las basuras, que tuvo una inversión de \$6.500 millones de pesos. Aun así, en estos contenedores no se puede realizar la separación de los RSO que impide la recolección selectiva (El Espectador, 2022).

Otra problemática presente, es la mala planificación de rutas y la falta de información sobre el horario de recolección, lo que hace que se almacenen los residuos por varios días en el espacio público, generando olores y contaminación del alcantarillado de la ciudad (Guerrero et al., 2013; UAESP, 2020a). Esto, además de la falta de cultura, desemboca en que se dispongan los residuos en puntos de recolección no autorizados o clandestinos o en las calles, como es el caso de alguno de los 736 puntos críticos que tiene la ciudad, que son atendidos por los cinco concesionarios del área de servicio exclusivo (ASE), quienes a diario realizan la recolección, transporte y descargue de estos residuos en la celda de Disposición Final o en el Punto Limpio dependiendo de su composición

(Kharola et al., 2022b; Moh & Abd Manaf, 2017; UAESP, 2023b). Esto repercute directamente al deterioro de las cualidades estéticas y ambientales en los sitios de disposición no controlados (Bui et al., 2020). Es necesario precisar en que las fallas en el sistema de separación y recolección, repercute en los altos costos asociados a la recolección, transporte y descargue de los residuos, pues generalmente constituyen del 80 al 95% del presupuesto total de gestión de residuos sólidos; por lo tanto, son el componente clave para determinar la economía de todo el sistema de gestión de residuos (Guerrero et al., 2013).

#### **4.2.1 Los recicladores de oficio en la gestión de RSO**

Los recicladores de oficio o recuperadores juega el papel más importante a la hora de realizar la recolección de los residuos potencialmente aprovechables, incluidos los RSO. Por lo general, se encuentran en situación de alta vulnerabilidad viviendo en condiciones de pobreza y con barreras de acceso a la educación y condiciones dignas de empleo, que los exponen a la estigmatización por parte de la ciudadanía, desconociendo la importancia de su labor para el ambiente y la economía de la ciudad (Rodríguez & Vergara, 2015).

La población recicladora es un sujeto de especial protección, por lo que se han desarrollado acciones afirmativas para dignificar su labor (auto 587 de 2015) en las actividades de aprovechamiento, es así como en Bogotá se tiene caracterizada a la población recicladora por medio del Registro Único de Recicladores de Oficio (RURO) y el Registro Único de Organizaciones de Recicladores (RUOR) con el fin de identificarlos (UAESP, 2022b). En la ciudad hay 25.478 recicladores de oficio activos, quienes en su mayoría se dedican a la recolección de aprovechables secos y no de los RSO (UAESP, 2023c).

En la ciudad desde el año 2012 se implementa el programa basura cero, que pretendía la inclusión y generación de oportunidades productivas para la población recicladora de oficio a través de la formalización, permitiéndole organizarse para realizar la actividad de aprovechamiento (OAB, 2023b). La labor de los recicladores es primordial, pues juegan el papel principal para aumentar la tasa de aprovechamiento de residuos, pero que se enfrentan a diferentes problemáticas cuando los residuos se mezclan. Los recicladores tienen alta eficiencia de recuperación de residuos, pues son los encargados

de realizar la separación que no se hace en los hogares, reduciendo los costos de recolección y tratamiento (Rojas et al., 2018). El 47% de los recicladores utilizan como medio de transporte de sus residuos los vehículos de tracción humana (VTH) o zorrillo, que es una forma de transporte inadecuada, que no solo afectan la salud de los recicladores, sino que también dificulta la efectiva recolección (Rojas et al., 2018; UAESP, 2023c).

El financiamiento insuficiente para transporte de residuos, mantenimiento y combustible limita la cantidad de rutas disponibles alrededor de la ciudad para recoger rápidamente los residuos, barrera que es identificada en los recicladores de oficio al tener un transporte precario (Guerrero et al., 2013; Kharola et al., 2022b). Para el caso particular de los RSO, en algunas partes de la ciudad, la recolección es realizada por rutas selectivas de dos organizaciones de recicladores de oficio que trabajan en los pilotos de las plantas de compostaje, como es el caso de la organización de recicladores Sineambore en el Mochuelo Bajo localidad de Ciudad Bolívar, y la organización MYM UNIVERSAL en la localidad de Usaquén, quienes tiene rutas de recolección por barrios específicos y plazas de mercado (UAESP, 2022c).

Sineambore cubre 723 usuarios, de los cuales 270 son familias de la ruralidad de mochuelo, con una frecuencia de 3 veces a la semana y cuenta con 4 rutas de recolección que se realiza en 4 de 360 barrios, dando cobertura a tan solo un 1,1% de la localidad. (UAESP, 2022c; Zambrano, 2020). Inicialmente el transporte de los RSO se realizaba con VTH, pero posteriormente la UAESP brindo incentivos para la inversión dos motocarros, con el fin de dignificar la labor del reciclador y mejorar la eficiencia, así como la reducción de costos de recolección y transporte (Prieto & Rayo, 2021). Por su parte, la Organización MYM UNIVERSAL realiza la recolección de 4 multiusuarios que suman 2,200 unidades residenciales en las localidades de Suba y Usaquén. Es claro que, el porcentaje de recolección de los dos pilotos de RSO es muy bajo, pues tener tan solo 2 rutas de recolección selectiva de RSO es insuficiente, teniendo en cuenta que hay aproximadamente 2.800.000 hogares en toda la ciudad (DANE, 2020; UAESP, 2021a, 2022c).

### 4.3 Aprovechamiento y tratamiento

La etapa de aprovechamiento y tratamiento son las actividades que permiten la reducción de los residuos que llegan a disposición final en el relleno sanitario y su valorización. En primer lugar, es necesario definir cada una de las etapas, el aprovechamiento es la actividad complementaria del servicio público de limpieza que alcanza la cogida de restos utilizables, la carga selectiva incluso la frecuencia de categorización y beneficio o hasta la planta de aprovechamiento, así como su clasificación y pesaje por parte de la persona prestadora (Decreto 596, 2016). Por su parte, el tratamiento es la actividad alternativa o complementaria a la disposición final, en la cual se propende por la obtención de ayudas ambientales, salubres o económicos, al empapelar los restos compactos a través de sistematizaciones y métodos mediante los cuales se cambian las tipologías físicas, biológicas o químicas para potencializar su uso, e incluye las técnicas de tratamiento mecánico, biológico y térmico (Decreto 1784, 2017)

Los RSO son un tipo de residuo que requiere de manera urgente alternativas de aprovechamiento y tratamiento, razón por la cual la UAESP en el año 2021 incluyó a los RSO en el modelo de aprovechamiento de la ciudad e identificó que existen 4 tipos de residuos orgánicos como son: los residuos de cocina cítricos, cocina no cítricos, de mayor generación en la ciudad (40,5%), jardinería y otros, que requieren un tratamiento diferencial de acuerdo con cada tipo de RSO (CONSORCIO NCU- UAESP, 2017; Hettiarachchi et al., 2018; UAESP, 2021a).

La cadena de valor de los RSO ha sido poco estudiada en el país, pero es necesario observar cada una de sus fases, como ya lo hemos hecho, para identificar las barreras que impiden el aprovechamiento y tratamiento efectivo. La clasificación de los residuos se realiza por medio de las bodegas de reciclaje privadas y en las ECAs, que son instalaciones técnicamente diseñadas con criterios de ingeniería y eficiencia económica, dedicadas al pesaje y clasificación de los residuos sólidos aprovechables, mediante procesos manuales, mecánicos o mixtos y que cuentan con las autorizaciones ambientales a que haya lugar (Decreto 1077, 2015). Esta solo se utilizan para la clasificación de los aprovechables secos (plástico, cartón, vidrio y metales), pero no para la separación de los RSO, pues es ideal que se realice desde la fuente o en el lugar de tratamiento, como lo indica la reglamentación, almacenados y separados desde los hogares, los restaurantes, hoteles, las plazas de mercado o Fruver y las industrias, por lo que los recicladores de

oficio se ocupan de la clasificación de los aprovechables secos y dos organizaciones recicladoras se ocupan de la recolección en sitio de los RSO de cocina, teniendo en cuenta que el almacenamiento es temporal y no puede superar las cuarenta y ocho (48) horas (Decreto 596, 2016; UAESP, 2021a).

**Figura 4-2:** Modelo de gestión integral de RSO



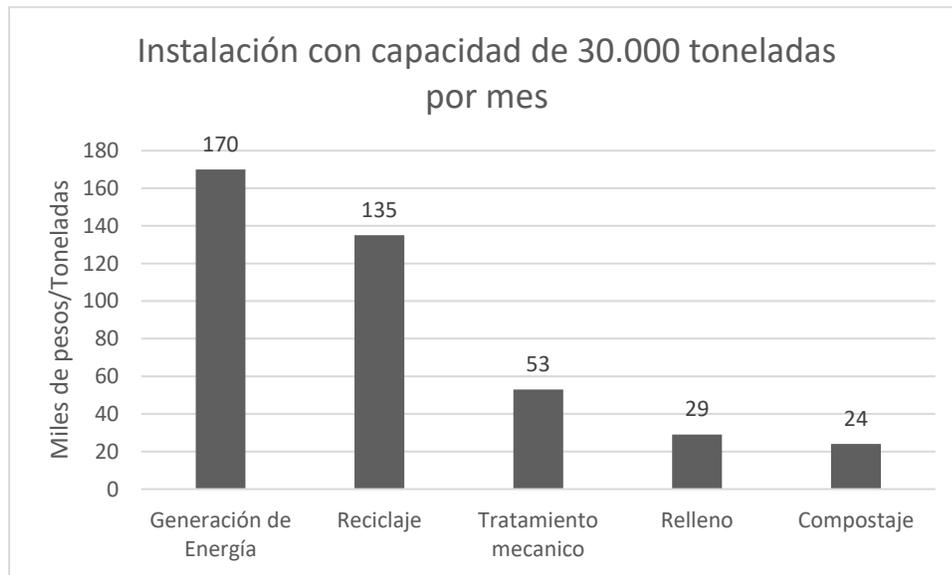
Fuente: elaboración propia con información de (UAESP, 2021a)

En Bogotá existen diferentes proyectos para el aprovechamiento y tratamiento de los RSO, como son las plantas de compostaje y lombricultivo, digestión anaeróbica, planta de tratamiento del biogás, aprovechamiento en sitio (huertas urbanas y compostaje a pequeña escala) y las pacas digestoras (Durán et al., 2022; Prieto & Rayo, 2021; UAESP, 2021a), que se profundizarán en el siguiente capítulo. La integración de tecnologías de tratamiento de gestión de residuos crea la mejor estructura para la recuperación de los RSO al minimizar los efectos negativos en varias dimensiones sostenibles, además de ser un requisito para la adopción de la EC en la cadena de valor del RSO (Bertolucci Paes et al., 2019; Bui et al., 2020; Gedam et al., 2021).

### 4.3.1 Costos elevados para aplicar tecnologías de aprovechamiento de RSO

A pesar de los avances, las plantas de compostaje y las iniciativas comunitarias si bien aportan a la reducción de los residuos que llegan a disposición final, estos siguen siendo demasiado pequeños respecto a la cantidad de RSO que se generan en la ciudad, lo que crea la necesidad de tener otras alternativas para el aprovechamiento y tratamiento. Una limitante para ampliar las inversiones en nuevas alternativas es la inexistencia de un sistema de tarifas claro para los servicios de manejo de residuos orgánicos específicos y el financiamiento es insuficiente para implementar nuevas tecnologías (CAF, 2018; Kharola et al., 2022a). En Bogotá, los residuos orgánicos no están claramente incluidos en la tarifa de aprovechamiento, por lo que los recicladores no reciben una remuneración económica por su tratamiento (Prieto & Rayo, 2021). A continuación, se observa el costo neto por tonelada de diferentes alternativas de aprovechamiento de RSO:

**Figura 4-3:** Costo Neto por tonelada diferentes técnicas de tratamiento, disposición final o aprovechamiento de RSO



Fuente: elaboración propia a partir de la información de (CONPES 3874, 2016)

Para el año 2015, de acuerdo con un estudio del Banco Interamericano de Desarrollo, las alternativas de tratamiento y aprovechamiento más económicas a desarrollar estaba el compostaje con \$24.000 pesos/ton, seguido del relleno sanitario con \$29.000 pesos/ton. Respecto a este último, el precio por tonelada del tratamiento mecánico

aumenta en un 82.7% (\$53.000 pesos / ton), el del reciclaje aumenta en un 271.7% (\$135.000 pesos/ton) y el de la generación de energía aumenta en 486.2% (\$170.000 pesos/ton) (Banco Interamericano de Desarrollo, 2015). Como está establecida la tarifa de tratamiento, el costo de las alternativas diferentes al relleno no puede exceder el costo de disposición final ni de tratamiento de lixiviados, esto es un problema, debido a que las demás alternativas de tratamiento de RSO son más costosas lo que imposibilita su implementación y si se hiciera, hay un alto riesgo de desfinanciación como lo indica la Corporación Autónoma Regional (CAR) (Concepto 28031, 2023). El sistema de gestión de RSO debe recibir una inversión adecuada, por lo que es importante el gasto de capital para diseñar y construir infraestructura técnica y administrativa, instalaciones de recolección y transporte, y zonas de tratamiento. (Bui et al., 2020).

### **4.3.2 Incentivo al aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos (IAT)**

Con el fin de incentivar nuevas tecnologías de aprovechamiento y obtener recursos económicos, en el Decreto 2412 de 2018 se crea el incentivo al aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos (IAT) que es un valor adicional por tonelada de residuo no aprovechable dispuesto en el relleno sanitario ( $VIAT (\$/Ton) = SMMLV * 0,80\%$ ), con el fin de fomentar la separación en la fuente y reducir los residuos dispuestos en el relleno sanitario. El IAT aplica para personas que realicen actividades principales y complementarias del servicio público de aseo y los recursos se invertirán en proyectos de aprovechamiento y tratamiento, dándole prioridad a las organizaciones de recicladores de oficio formalizadas o en proceso de formalización. Así mismo, la facturación se realiza al suscriptor del servicio público de aseo y será responsabilidad de la persona prestadora de la actividad de recolección y transporte de residuos no aprovechables (Resolución 176 del 30 de marzo, 2020; Decreto 2412, 2018).

Hasta el año 2022 se realizó la reglamentación de IAT con el Decreto 802 de 2022, en el que se define el cobro, facturación, presentación y evaluación de los proyectos con el fin de unificar los criterios para acceder a los recursos del IAT a nivel nacional, por lo que actualmente no hay información disponible para establecer los avances en la implementación de proyectos de tratamiento y aprovechamiento financiados con estos recursos (Decreto 802, 2022). El IAT permitirá la inversión en tecnologías de tratamiento y

aprovechamiento, la financiación de las organizaciones de recicladores y la reducción de los residuos que llegan al RSDJ.

### **4.3.3 Barreras en el acceso a la información**

Existen barreras en el acceso a la información confiable relacionada con el conocimiento del tratamiento de residuos con respecto a los materiales sobrantes para reciclar o reutilizar, el tratamiento de residuos y la eliminación de residuos (Bui et al., 2020). En la ciudad de Bogotá, la página del observatorio del residuo de la UAESP en el que se informa sobre las toneladas dispuestas y aprovechadas, no se encuentra en funcionamiento, limitando la información para hacer seguimiento al aprovechamiento de los RSO. Así mismo no existe actualmente un sistema de información para hacer el seguimiento del residuo a través del ciclo de vida, ni información confiable sobre las toneladas aprovechadas, pues estas son reportadas por los recicladores de oficio en las ECA's a quienes se les pagan por tonelada aprovechada, lo que podría inflar la cantidad de toneladas para obtener mayor ingreso económico (Resolución CRA 0720, 2015).

No hay información sobre la energía producida a través del tratamiento de RSO, únicamente los reportes oficiales de la UAESP, pero no se cuenta con seguimiento en tiempo real (Bui et al., 2020; N. Y. Rincón & Castiblanco, 2021a). Actualmente existen diferentes proyectos a nivel mundial, para el uso de tecnología informática que permita tener información precisa de recolección de residuos con la conexión de polos de la logística inversa con la logística convencional en una tarea de trazabilidad (Benitez, 2022).

## **4.4 Disposición final**

La actividad de disposición final consiste en la disposición de residuos sólidos mediante la técnica de relleno sanitario, tecnología que está superando la vida útil y es insostenible para el medio ambiente (Decreto 1784, 2017). El RSDJ ahora Parque de Innovación Doña Juana (PIDJ) recibe aproximadamente 6.154 toneladas diarias de residuos sólidos que son enterradas, y dentro del mismo se encuentra la planta de biogás más importante del país y la planta de tratamiento de lixiviados (OAB, 2022).

El relleno sanitario a lo largo de su ciclo de vida ha generado afectaciones ambientales y sanitarias, que inicio con la ocupación de 50 hectáreas y hoy ya va en 600. Se producen diferentes externalidades negativas tanto para el ambiente como para la

población aledaña, como son: el desplazamiento de la población de la zona de influencia, contaminación del río Tunjuelo por la descarga de lixiviados, contaminación de aguas subterráneas y la emisión de gases como el dióxido de carbono, el metano y el ácido sulfídico que llegan a la atmósfera (Molano, 2019). La vida útil del relleno sanitario, de acuerdo con la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) es hasta el 2024, lo que incrementa la preocupación de realizar un cambio de metodologías de aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos para reducir al máximo el enterramiento pues desborda la capacidad y sigue generando problemas de salud, ambientales y sociales (El Espectador, 2023).

Actualmente hay un pleito con el concesionario CGR, que opera el relleno sanitario desde el año 2010, debido a que considera que la remuneración no alcanza a cubrir los costos de operación incluida la renovación de la planta de tratamiento de lixiviados, teniendo 13 multas vigentes por incumplimientos de las autoridades ambientales (El Espectador, 2023; Rivera, 2023). Aun así, cuando se están implementando nuevas tecnologías en el relleno sanitario para que el método de disposición no sea únicamente el enterramiento, persisten las limitaciones de financiación para hacerlo de manera eficiente (Guerrero et al., 2013). Un estudio realizado por la Universidad Nacional de Colombia en el año 1979 propone la termovalorización como alternativa al RSDJ para tratar y aprovechar los residuos sólidos al generar energía eléctrica:

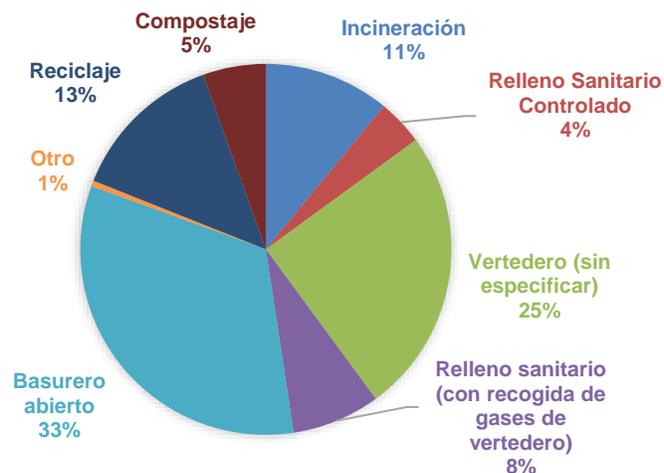
Utilizando la tecnología de central térmica, actualmente termovalorización, con 6.000 ton/día de residuos en Bogotá se dimensionaron tres unidades de generación, cada una con capacidad de 50 Mw . Es decir, las basuras de Bogotá tendrían una capacidad potencial de energía de 150 Mw instalados. (Ramos, 2020)

Si esta se hubiera implementado en su momento, se habrían reducido los impactos ambientales ocasionados por los deslizamientos y olores ofensivos que ha generado los residuos sólidos del relleno, además de reducir gastos en el distrito en materia de alumbrado público. De acuerdo con la (Organización de las Naciones Unidas - Medio Ambiente (ONU Medio Ambiente), 2018), la gestión de los residuos trae beneficios ambientales, económicos y sociales; entre estas la mejorar de la situación sanitaria y la salud pública, creación de puestos de trabajo y la erradicación de rellenos sanitarios.

## 5. Alternativas de gestión de residuos sólidos orgánicos

De acuerdo con la identificación realizada al efectuar la revisión documental, se evidencia que en el mundo existen diferentes alternativas para el tratamiento y aprovechamiento de los RSO que son interesantes por el avance tecnológico que esto implica. De acuerdo con el Banco Mundial (2018) el 33% de los residuos sólidos llegan a los basureros abiertos, el 25% a vertederos, el 13% se reciclan, un 11% se incineran, el 8% se deposita en los rellenos sanitarios con recogida de GEI y el 5% se composta (WBG, 2018).

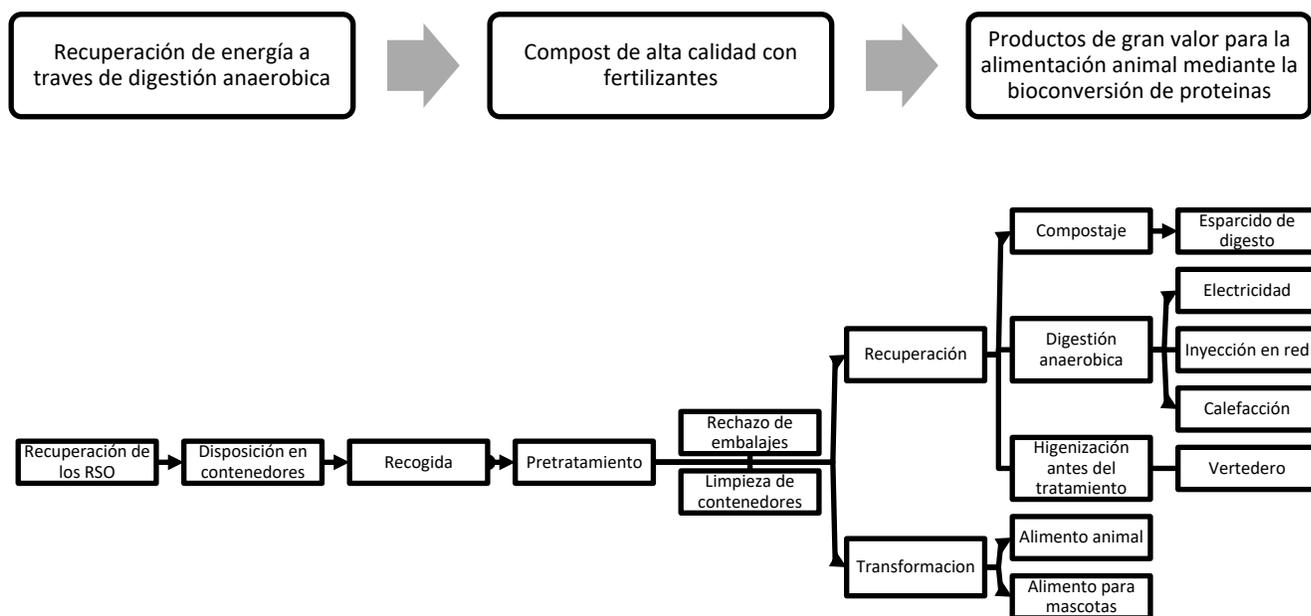
**Figura 5-1:** Métodos de tratamiento de residuos globales



Fuente: elaboración propia, con datos del Banco Mundial (WBG, 2018)

En la figura 4-2 se puede observar un sistema de recuperación de RSO desarrollado por la compañía Veolia de España, que detalla cada una de las fases del aprovechamiento del RSO como son: la disposición en contenedores, la recogida del RSO, el pretratamiento y limpieza de contenedores y la recuperación. En esta última fase, se encuentran las alternativas de aprovechamiento como el compostaje, la digestión anaeróbica, la higienización antes del pretratamiento y la transformación, que permite obtener diferentes productos que tiene valor y pueden llegar a comercializarse e insertarse nuevamente al mercado, observando así la aplicación de la EC para este tipo de residuos y aprovechando su gran valor energético.

**Figura 5-2:** Soluciones para la recuperación de RSO – Veolia



Fuente: elaboración propia a partir del gráfico de Veolia (Veolia, 2020)

A continuación, detallaremos algunas de estas alternativas para el aprovechamiento y tratamiento de los RSO y su aplicación en Bogotá, como alternativas con enfoque de EC.

## **5.1 La digestión anaeróbica (DA) y producción de biogás**

El uso incesante de combustibles fósiles ha agotado el suministro limitado de tales fuentes no renovables de energía y ha causado una crisis climática amenazante que está a unos pocos años de convertirse en un problema irreversible. Las preocupaciones sobre la protección del medio ambiente mundial se introdujeron a finales del siglo XX, sin embargo, las regulaciones y directivas gubernamentales actuales hacia una campaña activa contra el cambio climático, se implementaron hace poco más de una década (Weiland, 2010). Es esta urgencia de desarrollar un plan de contingencia que ha considerado al biogás como una solución atractiva para combatir los efectos del calentamiento global.

De hecho, la Unión Europea ha estado implementando políticas energéticas y climáticas para reducir dependencia de los combustibles fósiles y fomentar la utilización de fuentes de energía alternativas y renovables. La mayoría de los países que han sido pioneros en la tecnología y la investigación del biogás se encuentran en Europa, donde la energía y políticas climáticas y la introducción de varios esquemas de apoyo para promover la utilización de los recursos renovables han fomentado el desarrollo de plantas de biogás para la producción de energía, que funcionan a través del proceso de digestión anaeróbica (DA) (Weiland, 2010).

La DA es el proceso biológico en el cual se descompone la materia orgánica por acción de microbios, en ausencia de oxígeno, hasta obtener biogás (rico en metano y dióxido de carbono - CO<sub>2</sub>) y en un residuo sólido o pastoso llamado digestato o digerido (Grisales et al., 2017; Veolia, 2020). La DA es una oportunidad para la gestión de los RSO pues comparado con el modelo actual, tiene menos efectos en la atmósfera, menor potencial de calentamiento global y un potencial mínimo de agotamiento de combustibles fósiles, además de ser es un proceso confiable debido a la viabilidad económica y técnica en comparación con otros enfoques disponibles, como el pirólisis, la torrefacción, la incineración, la gasificación y el método de compostaje (Zamri et al., 2021).

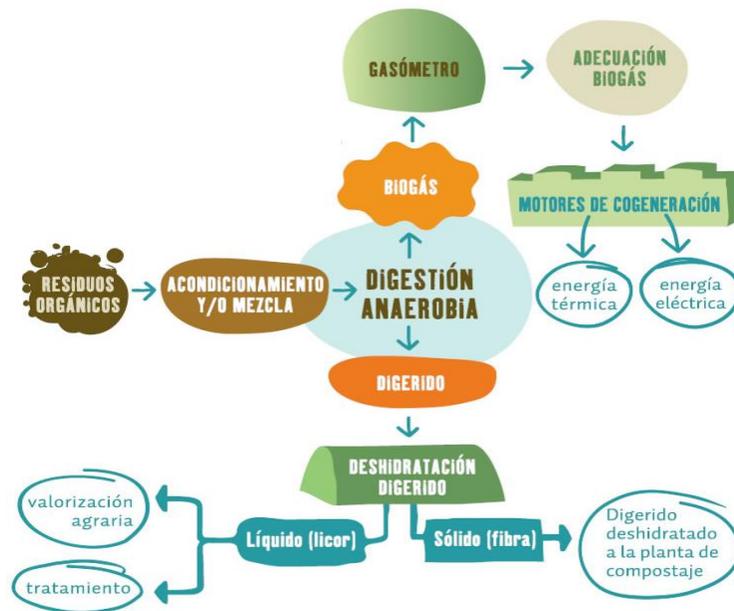
Existen dos tipos de DA, el tipo fermentación en seco y el húmedo. El primero, es el proceso en el que la materia orgánica, con un porcentaje de sólidos seco entre 15% al 40%, se degrada en ausencia de oxígeno en digestores sellados. La segunda, la materia orgánica tiene un porcentaje inferior al 15%, que respecto a la primera tiene un mayor consumo de agua en el tratamiento de la biomasa, lo cual aumenta los efluentes y también el consumo de calor para su evaporación al final del proceso (Grisales et al., 2017).

Las plantas de DA se caracterizan por tener las siguientes fases (Rajabi Hamedani et al., 2020):

1. *Entrega, pretratamiento, acondicionamiento*: las materias primas ingresan al sistema, es decir, la biomasa semisólida (estiércol y residuos de cultivos verdes) y residuos líquidos (aguas residuales de plantas de compostaje). Los residuos líquidos se someten a cribado (remoción de materiales de gran tamaño) y se vierten en tanques de preacumulación, mientras que los sólidos se envían a un tanque de almacenamiento donde se fluidifican y se envían a los digestores (Rajabi Hamedani et al., 2020; Venegas, 2019).
2. *Digestión anaeróbica*: Luego del proceso anterior, se dirigen a los digestores, donde se mezclan completamente con un tiempo de retención alto (Rajabi Hamedani et al., 2020). La DA comprende los procesos de (Grisales et al., 2017):
  - Hidrólisis donde los polímeros complejos son degradados a moléculas simples por parte de bacterias hidrolíticas, para la conversión de dichos compuestos complejos y volverlos solubles.
  - Acidogénesis, etapa en la cual se obtienen diversos ácidos orgánicos que son convertidos en ácidos grasos de bajo peso molecular como el dióxido de carbono.
  - Acetogénesis, en esta etapa las moléculas provenientes de la acidogénesis son captadas por los microorganismos acetógenos para emplearlas en la producción de acetato, dióxido e hidrógeno.
  - Metanogénesis: usando el acetato, dióxido de carbono e hidrógeno, se produce metano.

3. *Línea de gas común con gasómetro*: El producto tratado pasa luego del digestor a un tercer tanque final de almacenamiento, donde el biogás es conducido a dos gasómetros y sometido a un proceso de deshumidificación y desulfuración para obtener un gas funcional para los motores (Rajabi Hamedani et al., 2020).
4. *Producción de energía eléctrica y calor con motores de combustión interna alimentados por biogás*: Se supone que la eficiencia eléctrica y térmica general es del 40 % y el 44 %, respectivamente. La energía térmica (agua caliente a 80–90 °C) necesaria para calentar la biomasa dentro del digestor se recicla de los gases de escape del motor a 450 °C (Rajabi Hamedani et al., 2020).
5. *Deshidratación, stripping y compostaje de digestato*: Para los lodos que salen del reactor digestor, el sólido digerido se deshidrata en una planta centrífuga especial, despojando el amoníaco en la deshidratación con tratamientos. Los lodos deshidratados en esta fase se depositan en una nave de almacenamiento hasta que se someten a una mayor estabilización mediante un proceso de compostaje para obtener abono puro (Rajabi Hamedani et al., 2020).

**Figura 5-3:** Procesos de una planta de Digestión Anaeróbica



Fuente: imagen tomada de la Agència de Residus de Catalunya (Gencat, 2023).

Las plantas de DA son la alternativa que incluye los principios de la EC, en la cual se valorizan por diferentes tratamientos los RSO para la producción de biogás y digestato, en el cual cada uno de los productos puede transformarse para la generación de energía eléctrica, biometano, compostaje y fertilizantes para suelo, que vuelven a insertarse en la economía y cerrar ciclos.

### **5.1.1 Biogás y la generación de energía**

El producto principal de la DA es el biogás, una mezcla gaseosa formada principalmente por: metano (50 a 70%) y dióxido de carbono (30 a 50%) y pequeñas proporciones de otros gases, que depende tanto de la materia prima como del proceso en sí. Una ventaja de disponer de biogás es que puede servir para satisfacer parte de las necesidades energéticas de las plantas de tratamiento y aunque su potencia calorífica no es muy grande, puede sustituir con ventaja al gas de ciudad, utilizándose en aplicaciones tan diversas como: fuente de calor (cocina, alumbrado), combustión en calderas de vapor para calefacción y combustible de motores acoplados a generadores eléctricos (Lorenzo & Obaya, 2005; Montes, 2020).

El biogás puede someterse a un proceso de limpieza de compuestos tóxicos y de mejora del bajo poder calorífico a uno más alto, permitiendo obtener biometano que tiene una mejor calidad e intercambiabilidad con el gas natural (N. Y. Rincón & Castiblanco, 2021b; Zamri et al., 2021). El biogás es una energía multifacética en relación con su materia prima y con sus usos, pues puede producir energía térmica, eléctrica, y tratado puede ser inyectado a las redes de gas natural para sustituir este combustible y además deja un biofertilizante como subproducto (N. Y. Rincón & Castiblanco, 2021b).

Esta alternativa para la producción de energía y calor a través de la cogeneración puede ser usada para las necesidades de las ciudades y subirse a la red eléctrica, debido a que el metano tiene un calentamiento mayor (HHV) que el dióxido de carbono, el biogás tiene un contenido de energía dentro del rango de 6.0 – 6.5 kW h m<sup>-3</sup> (FAO et al., 2011). Así mismo, el gas natural renovable también se puede utilizar como combustible vehicular, como sucede en Suecia, Alemania, China, Estados Unidos, etc., tienen una infraestructura bien establecida para utilizar este tipo de gas (Subbarao et al., 2023). Alemania es uno de los países que está sentando las bases para la tecnología del biogás, las plantas de biogás

se han más que cuadruplicado en el lapso de diez años y se hizo de acuerdo con leyes gubernamentales que señalaron la importancia de direccionar la capacidad eléctrica instalada de las plantas hacia el cumplimiento de las metas ambientales, así como la disminución de la contaminación del agua, el suelo y el aire (Scarlat et al., 2018).

La generación de electricidad a partir de biogás obtenido de rellenos sanitarios, desde el punto de vista ambiental permite generar energía eléctrica a partir de recursos renovables y contribuye a mitigar la generación de GEI a la atmósfera. Así mismo desde el punto de vista económico la generación de electricidad resultante de los RSO puede ahorrar en el mundo 7.486.085 USD/año (Mendoza & Gámez, 2022).

De acuerdo con lo anterior, el biogás trae consigo diferentes externalidades positivas como son las mejoras en gestión y aprovechamiento de residuos orgánicos, mejoras en la salud al controlar vectores de enfermedades respiratorias e infecciosas, disminución de emisiones de GEI, prevención de deforestación en zonas rurales, ahorros en costos de combustibles y/o energía y bioabono para adecuación de suelos y es un producto que representa la aplicación de la EC en los RSO (Gencat, 2023; Rajabi Hamedani et al., 2020; N. Y. Rincón & Castiblanco, 2021b).

## **5.2 Producción de biogás y energía en Bogotá**

En la ciudad se han generado proyectos importantes tanto para la producción de biogás como su tratamiento para la generación de energía, como se detallan a continuación:

### **5.2.1 Biodigestores anaeróbicos del Jardín Botánico de Bogotá**

La UAESP junto al Jardín Botánico de Bogotá Jose Celestino Mutis (JBB) desarrollaron un proyecto de DA, que consiste en un piloto de investigación para la valoración energética de los RSO, que tiene lugar en un único biodigestor anaeróbico por medio de DA tipo fermentación en seco, el cual recibe residuos de plazas de mercado, corte y poda de césped del JBB y que a la fecha han tratado aproximadamente 65 toneladas de RSO, que se estima han generado 40 metros cúbicos de biogás y logran ser autosuficientes en un 30% (Durán et al., 2022; Grisales et al., 2017).

Este biodigestor, cuenta con el proceso de gasificación para la madera residual del JBB con la que se produce energía, que permite obtener beneficios adicionales como la reducción de impactos ambientales con nuevos productos, la reutilización y la creación de empleo, permitiendo reducir las emisiones de carbono y los GEI que llegan a la atmosfera (Subbarao et al., 2023; Vega & Herrera, 2018).

**Figura 5-4:** Biodigestor del Jardín Botánico José Celestino Mutis



Fuente: tomado del informe de avance de Acuerdo 344 de 2018 (Durán et al., 2022)

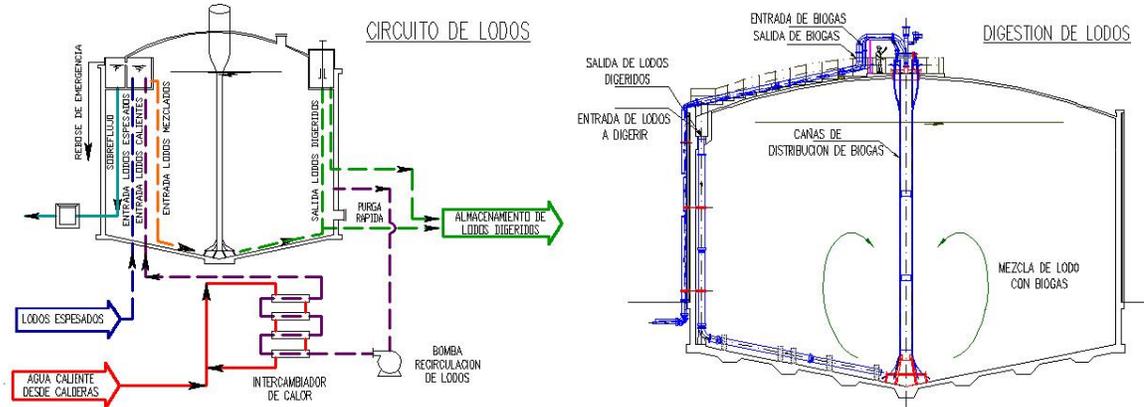
El Biogás producido tendría un contenido de metano de 50%, lo que indica una buena calidad del biogás y poder calorífico y, además, se están realizando adecuaciones para la contabilización de energía eléctrica generada por el biodigestor, que permitiría aprovecharla dentro del JBB para reducir costos y continuar con la generación de empleos y del cierre del ciclo de materiales, aprovechando los RSO con enfoque de EC (Durán et al., 2022).

### **5.2.2 Biodigestor anaeróbico en la PTAR Salitre**

El segundo, son los 3 biodigestores que se encuentran en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) El Salitre, en el que se estabiliza lodo generado en el tratamiento de aguas residuales, que por medio de procesos para descomponer la materia orgánica permite obtener agua y biogás. Diariamente, y en condiciones normales de operación, se producen alrededor de 13.500m<sup>3</sup> de biogás, de los cuales se consume un

35% para calentar los lodos espesados y el exceso de biogás se quema en una tea transformándolo en agua y dióxido de carbono (Acueducto, 2023b).

**Figura 5-5:** Digestores anaerobios en la PTAR El Salitre



Fuente: tomado de los productos de la PTAR Salitre (Acueducto, 2023b)

Otro producto resultante en la PTAR salitre es el biosólido que es producto de la deshidratación de los lodos digeridos con una producción media de 3615 Toneladas/mes en 2018. Este biosólido tiene un alto porcentaje de nitratos y fosfatos, que no excede los niveles permitidos por la norma para metales pesados, siendo potencialmente apto como fertilizante orgánico para agricultura y como enmienda de suelos para recuperación de terrenos que es aprovechado en un predio autorizado por la autoridad ambiental para recuperación de este, al sur de la ciudad (Acueducto, 2023b).

De acuerdo con el informe de actividades del mes de mayo de 2023 en la PTAR El Salitre, se realiza un tratamiento del biogás para utilizarlo como combustible, por medio de la planta de tratamiento de biogás (PTG) en la que se elimina los componentes tales como humedad, H<sub>2</sub>S, siloxanos, así como el ajuste de la temperatura del biogás a la entrada a motores, para posteriormente usarlo en cogeneradores y calderas. El proceso de cogeneración en mayo 2023 permitió obtener 2.647.730 KW de energía eléctrica y el calor recuperado se utilizó en procesos de calefacción de lodos, permitiendo observar la aplicación de la EC en la ciudad (Acueducto, 2023a).

### 5.2.3 Planta de Biogás Doña Juana

Por otra parte, el Parque de Innovación Doña Juan cuenta con la planta de tratamiento y aprovechamiento de biogás más importante del país, que inicio la operación

en 2009, y pretende generar energía eléctrica con la transformación del metano, captando el biogás del relleno sanitario doña Juana producto de la descomposición biológica de la materia orgánica que contienen los residuos sólidos que llegan a las celdas de disposición final y podría llegar a capturarse 11.700 metros cúbicos de biogás (Durán et al., 2022; El Tiempo, 2021). El biogás puede ser una fuente de combustible para el sistema Transmilenio de Bogotá, pues podría llegar a reemplazar hasta un 20% de la gasolina, por lo que, si se inicia el tratamiento de basuras para generar combustible, se podría tener una reserva de biogás hasta 2030, con una producción de biogás de entre 6.000 y 7.000m<sup>3</sup> por hora (UNAL, 2018).

**Figura 5-6** Planta de biogás Doña Juana



Fuente: modelo de aprovechamiento (UAESP, 2021a)

La planta permite la reducción de 800.000 toneladas de dióxido de carbono a la atmosfera que se comercializan a través de Certificados de Reducción de Emisiones (CRE) o bonos de carbono, los cuales son vendidos en el mercado nacional e internacional y le dejan regalías a la ciudad por más de tres mil millones de pesos anuales (Africano, 2021). Para el año 2021, la planta genero 1,7 MV por hora (1.224 MV al mes) suficiente para la demanda de 4.000 hogares, pero corta frente a la demanda energética de la ciudad (Bogotá, 2021). Esta energía producida se sube al circuito interconectado de energía eléctrica y la venta de energía la hace a través de la comercialización en la bolsa, en donde Biogás Colombia entrega a la UAESP el 6% de la venta, cuyos recursos son empleados para la financiación del Plan de Gestión Social de la UAESP desarrollado en la zona de influencia del proyecto, así como participación del 24% de los CRE que permitió en el año

2022 la suscripción de convenios educativos con cuatro universidades públicas de Bogotá para apoyar los estudios de pregrado de los jóvenes de estas zonas (Clavijo, 2023; UAESP, 2022c).

#### **5.2.4 Actores y aspectos normativos en el biogás**

La generación de biogás, biometano y energía eléctrica a partir del biogás, tienen barreras en cuanto a la normatividad lo que impide la implementación de mayor tecnología para la generación de energía renovable en el país (Kharola et al., 2022b). Actualmente la regulación del biogás y el biometano por parte de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) se rige en los mismos términos de la regulación del gas natural, que debe tener un proceso de depuración para acceder a la red troncal de gaseoductos, teniendo la regulación una visión empresarial de grandes volúmenes de producción de biogás, pero no incorpora la producción autónoma de biogás por parte de la comunidad para su propio uso, limitando la generación de proyectos en pequeña escala (N. Y. Rincón & Castiblanco, 2021a).

En la Ley 1715 de 2014 con la que se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional, se incluye la energía de biomasa como Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), y además permite la presentación de diferentes proyectos para la generación de energía a partir de la biomasa, pero esta ley ha tenido una escasa difusión, lo que permite concluir que se requieren medidas de política más específicas y un trabajo conjunto entre las diferentes entidades del gobierno y las fuentes potenciales de producción y uso de biogás tanto a pequeña, mediana y gran escala, con enfoque integral. (Ley 1715 de 2014, 2014; N. Y. Rincón & Castiblanco, 2021a). Algunos de los actores involucrados en el biogás son: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT); Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS); Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento (CRA); Sistema Único de Información Superservicios (SSPD); Ministerio de Minas y Energía (MME); CREG; Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME); Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) (N. Y. Rincón & Castiblanco, 2021a).

Para cada fase del ciclo de vida del biogás, se requiere la articulación de diferentes instituciones a nivel nacional, que le permita la aplicación de incentivos y la articulación

normativa debido a la complejidad de relaciones entre los sectores. De acuerdo con (N. Y. Rincón & Castiblanco, 2021b):

Debe existir un encadenamiento con políticas o normativas emanadas desde: MADR-ICA en cuanto a las prácticas agropecuarias y la reglamentación sobre bioabonos; MVCT y la CRA, respecto al manejo de residuos sólidos y aguas residuales; MADS-ANLA-CAR y CDS respecto al licenciamiento ambiental de actividades generadoras de residuos orgánicos en cuanto a exigir la producción de biogás como una forma de aprovechamiento de los mismos como una opción del Plan de Manejo Ambiental al momento de otorgar las licencias; MME respecto a los PERS en todas las regiones donde exista potencial de generación con residuos producidos localmente y en general con el CONPES 3700 sobre cambio climático. (p. 15)

Actualmente en el país no existe una política concreta de para el desarrollo del biogás, y aunque la única regulación específica es de la CREG, solo considera proyectos a gran escala, con lo cual se deja de lado los proyectos existentes de pequeña y mediana escala, por el contrario, la regulación existente que proviene del MADR o el ICA puede desestimular este tipo de proyectos en las unidades agrícolas familiares (N. Y. Rincón & Castiblanco, 2021a).

### **5.3 Digestato y producción de bioabono**

El digestato o digerido es el producto resultante luego de que la falta de oxígeno permita que el microorganismo degrade la materia orgánica para producir lodo estabilizado, a través de un tratamiento de deshidratación (Gencat, 2023; Montes, 2020). A los sólidos les realiza un proceso de deshidratación de lodos que incluye la incineración de lodos, el compostaje y la aplicación al suelo, es decir que el producto es un bioabono que se pueden utilizar como abono órgano para la fertilización del suelo agrícola. Por su parte, los líquidos pasan por un proceso de filtración de lodos para fertilizante líquido, extracción de amoníaco y recuperación de fósforo (Zamri et al., 2021).

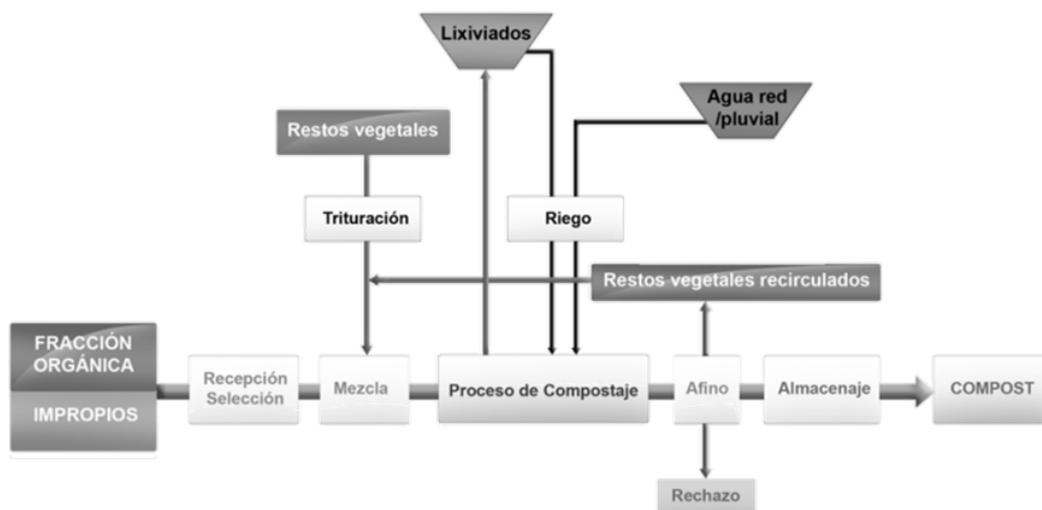
El bioabono aplicado a suelos que han perdido sus características originales hace que las recuperen, y contribuye a que esos suelos no sufran un progresivo deterioro, por lo que permite aprovechar las externalidades positivas de la producción de biogás y tienen potencial de comercialización, si se aprovecha este tipo de productos (ICAITI, 1985).

### 5.3.1 El Compostaje

El compostaje es un proceso biológico, que transforma con la presencia de oxígeno los RSO en producto estabilizado y esterilizado, rico en compuesto húmicos llamado compost, que es un fertilizante orgánico del suelo (Veolia, 2020). Para el proceso de transformación, existen las plantas de compostaje en las que se realiza un proceso de descomposición de la materia orgánica por microorganismos en condiciones aerobias, llevada a cabo en montículos de RSO bajo condiciones controladas y cuyos requerimientos de oxígeno son alcanzados mezclando las pilas frecuentemente (MAG Consultoría S.A.S, 2021). Para obtener un producto de calidad, se requiere una mezcla de residuos esponjosos que pueda retener agua correctamente y porosas para que permita la circulación del aire, con la presencia de oxígeno suficiente, humedad adecuada, temperatura adecuada y tener un óptimo equilibrio de nutrientes (Montes, 2020).

A continuación, se observa las etapas del compostaje en la gestión de los RSO de competencia municipal:

**Figura 5-7** Etapas del compostaje de residuos de competencia municipal



Fuente: (MITECO, 2013)

Las fases de las plantas de compostaje son 3 (MITECO, 2013):

1. Pretratamiento, que permite adecuar el RSO separando los elementos no deseados.
2. Fermentación con la cual se transforma por medio de oxidación biológica produciendo CO<sub>2</sub> y maduración, donde se realiza la degradación lenta que dura algunos meses.
3. Afino que es la retirada de materiales impropios y entrega como compost o fertilizante.

El compost resultante puede ser usado en el mejoramiento del suelo con la fertilización, lo que permitirá la recuperación y aportación de la materia orgánica y nutrientes, incremento de la fijación de CO<sub>2</sub>, mejora en la estructura del suelo, mejoramiento de la capacidad de absorción de nutrientes, prevención de la erosión y sustitución de otros fertilizantes (MITECO, 2013). Este bioabono, puede resultar como ya lo revisamos anteriormente, del digestato resultante de la DA o de la transformación directa de los RSO municipales.

### 5.3.2 Plantas de compostaje en Bogotá

En Bogotá actualmente existen dos (2) plantas públicas que son proyectos piloto desarrollados en las localidades de Ciudad Bolívar y Usaquén, las cuales son operadas por organizaciones de recicladores de oficio con financiación de la UAESP (UAESP, 2022c). La planta de aprovechamiento del Mochuelo bajo en Ciudad Bolívar, es una iniciativa de la organización de recicladores de oficio SINEAMBORE, en el año 2009 iniciaron la implementación de rutas selectivas para los RSO para su recolección y posterior tratamiento, produciendo compost que se han aprovechado en la agricultura y la ganadería (Colmenares, 2021). Entre las dos plantas se generan anualmente 1.200 toneladas de compostaje, que son comercializadas en las constructoras para la recuperación de suelos (Zambrano, 2020).

**Tabla 5-1:** Características de las plantas de compostaje de RSO en Bogotá

CARACTERISTICA	PLANTA MOCHUELO BAJO	PLANTA MYM
Ubicación	Barrio Mochuelo Bajo de la localidad de Ciudad Bolívar	Localidad de Usaquén, en la carrera 9 con calle 201

CARACTERÍSTICA	PLANTA MOCHUELO BAJO	PLANTA MYM
Asociación	Sineambore	Asociación de recuperadores puntos ecológicos MYM Universal
Inicio operación	2017	2021
Procesos	Compostaje 95% y lombricultura 5%	Compostaje
Capacidad tratamiento	720 toneladas/año	504 toneladas/año
Tecnología	Sistema de aireación forzada y un sistema de manejo de lixiviados	Sin dato
Usuarios	723 usuarios del barrio la cual recoge 5 toneladas/ semana en cuatro (4) establecimientos comerciales de Suba conocidos como "Fruvers"	4 multiusuarios que suman 2,200 unidades residenciales, los residuos provenientes de los restos de café de 55 locales de Tostao (una cadena de tiendas de café y pan).

Fuente: elaboración propia. Datos de la UAESP (2022c) Respuesta a derecho de petición  
7 de abril de 2022

En Bogotá hay aproximadamente 2.8 millones de hogares de acuerdo con las cifras del DANE, los usuarios que entregan sus RSO a las plantas corresponden a tan solo el 0.1%, un porcentaje muy pequeño consecuencia de los diferentes retos que enfrentan este tipo de tecnología (DANE, 2020). Algunos de ellos son la inadecuada definición de mercado, altos costos de operación y transporte, mala calidad del compost, poca aceptación para lograr la separación en la fuente, fallas en la recolección selectiva, intolerancia de los olores en las instalaciones, falta de mantenimiento de equipos, falta de vinculación con proyectos estratégicos de recuperación de suelos y poca participación de sectores formales (CAF, 2018).

En el año 2008 la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios realizó un diagnóstico de 33 plantas de tratamiento de RSO en el país y la mayoría de estas realizaban compostaje con sistemas manuales, en algunos casos se desarrollaron procesos de lombricultura, que presentaron problemas de sostenibilidad financiera, pues la recuperación de los costos de inversión y de operación no se cubrían por la comercialización de los productos generados; por el contrario, estas requerían recursos de las regalías, las tarifas de aseo, el presupuesto del municipio y otros fondos para continuar operando (CONPES 3874, 2016). En el caso de las plantas de compostaje de Bogotá, la UAESP invirtió más de \$85.000.000 de pesos para la tecnificación de la planta del

Mochuelo bajo, inversión que permitió aprovechar mayor cantidad de RSO (UAESP, 2021b). Al evaluar el costo de esta tecnología respecto a otras, es el más bajo con un costo promedio por tonelada de \$24.000 pesos en el año 2015 (CONPES 3874, 2016; Mapura & Cardona, 2022).

En términos normativos, los bioabonos están regidos bajo Reglamento Técnico de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelos para Colombia, adoptado mediante Resolución 150 de 2003 y se rige también por la Resolución 187 de 2006 que establece en el Art. 11, “Todos los productos terminados y utilizados como abonos o sustancias de síntesis biológica o afines, químicas (bioinsumos) con fines comerciales en la producción ecológica deberán estar registrados ante el ICA” (N. Y. Rincón & Castiblanco, 2021b). Por lo tanto, los productos se deben certificar ante el ICA para lograr comercializarlos cumpliendo con estándares de calidad definidos.

El compostaje se realiza con un proceso de vuelta y vuelta, adición de estiércol de diferentes animal y productos como aserrín y algodón para propiciar condiciones anaeróbicas de manera manual (Zambrano, 2020). A nivel mundial, muchas instalaciones de compostaje se han cerrado debido a un control inadecuado de la calidad del compost que se produce y a la incompatibilidad del diseño de la planta con las características de los residuos sólidos por lo que es necesario avanzar en herramientas para realizar las labores de verificación de calidad con tecnología y así aumentar la eficiencia y reducir costos en la preparación del compostaje (Guerrero et al., 2013).

Estas plantas de compostaje a pesar de ser recientes permiten cerrar el ciclo de vida del producto, cuando este es llevado al suelo para el cultivo, permitiendo reproducir tecnológicamente el metabolismo natural de las materias orgánicas, transformándolas y reintroduciéndolas en la circulación natural (Masullo, 2017), pero aún requieren superar muchos retos para que el producto pueda cumplir con los estándares de calidad, ampliar la capacidad de producción y generar un mercado propicio que permita llevar el producto a las zonas de cultivo como fertilizante.

### **5.3.3 Pacas biodigestoras y huertas urbanas**

Una de las tecnologías comunitarias recientes son las pacas biodigestoras Silva, con esta tecnología se busca que los RSO sea degradados mediante la acción de

agentes biológicos y en condiciones naturales, de bajo costo, transformando el material in situ y con la posibilidad de controlar la producción de malos olores y la proliferación de plagas y vectores en los excedentes orgánicos (Ossa, 2016; Valencia, 2022). Con la paca biodigestora Silva se puede evitar el desperdicio del 60% de los residuos sólidos urbanos y toda su contaminación al agua, aire, suelo y comunidad (Silva, 2018).

**Figura 5-8** Pacas biodigestoras



Fuente: (Ossa, 2016)

A pesar de ser una tecnología innovadora y reciente, la UAESP se ha adaptado desde el año 2021, fecha en la cual entrego 63,1 toneladas de residuos vegetales de material de poda y corte de césped a través de un proyecto piloto a 22 iniciativas de paqueros en la ciudad (UAESP, 2021a). En esta misma línea encontramos las composteras in situ y las huertas urbanas, contando con 20 mil huerteros y más de 4 mil huertas en las que la comunidad se reúne para trabajar fortaleciendo el tejido social, sociabilizando a las personas y en muchos casos, son una opción para generar ingresos (Camelo, 2022). Con estos métodos comunitarios se pretende reciclar los residuos orgánicos para generar bioabono para la agricultura urbana, cerrando el ciclo de vida del producto.

## **6. Análisis de alternativas de gestión de RSO en Bogotá con enfoque de Economía Circular**

En América Latina ha prevalecido la gestión de residuos bajo el esquema de “recolección y disposición final”, dejando atrás el aprovechamiento, reciclaje y tratamiento de residuos (AIDIS-IDRC, 2006). En varios países de la región aún se utilizan los rellenos sanitarios y continúa la práctica de recolectar sin clasificación y/o separación en la fuente (Sáez & Urdaneta, 2014). Adicionalmente, la falta de infraestructura para el procesamiento de los residuos orgánicos ha obligado a que la mayor parte de ellos sean enviados a vertederos, generando una serie de impactos ambientales negativos.

En la ciudad de Bogotá, según UAESP, diariamente se producen aproximadamente 6.500 toneladas de residuos sólidos, de los cuales el 52 % corresponde a RSO (OAB, 2023a; UAESP, 2023a). El manejo principal que se le ha dado a este tipo de residuos consiste en la recolección, transporte y entierro en un relleno sanitario, donde estos residuos no solo pierden el potencial de aprovechamiento, sino que también generan una serie de impactos ambientales negativos en las poblaciones que se encuentran cerca de estos sitios de disposición (Sáez & Urdaneta, 2014).

Como se ha visto a lo largo del documento, se implementan en la ciudad alternativas para el aprovechamiento de RSO como son las plantas de compostaje, la DA para la producción de biogás, electricidad y bioabonos, las pacas biodigestoras Silva y las huertas comunitarias, además de la existencia de empresas a pequeña escala que realizan la recolección y el tratamiento de RSO para entregar compostaje (Durán et al., 2022; Prieto & Rayo, 2021; UAESP, 2021a). Estas alternativas están dedicadas a las cadenas de valor

basadas en bioenergía y biocombustibles, que le apuestan al uso de energías renovables y la transición hacia una EC (Bertolucci Paes et al., 2019).

La EC en el contexto de la gestión de los RSO ofrece la posibilidad de convertir los flujos de residuos en recursos valiosos y mejorar la sostenibilidad de la agricultura y la producción de alimentos, reducción de los GEI, producción de productos y energía y la reducción de costos (Bertolucci Paes et al., 2019). Si bien, las tecnologías implementadas en Bogotá permiten valorizar los RSO y reinsertarlos a la economía al producir bioabonos, gas y energía, aun la ciudad enfrenta diferentes retos para tener un sistema de EC consolidado, pues prevalecen barreras en las fases de la gestión de los RSO y además tampoco se ha desarrollado investigación para implementar el ecodiseño y la ecoeficiencia, que permitiría el reusó, la reparación o la reutilización del RSO, para maximizar el aprovechamiento y facilitar la separación en la fuente (EMAF, 2021). Un sistema económico en el que desde el primer momento se piense en la creación de productos circulares.

En el presente capítulo, se incorporan criterios del enfoque de EC en las alternativas identificadas de aprovechamiento de RSO incluyendo la descripción realizada sobre el estado actual de la gestión de los RSO en la ciudad. Se hará un análisis por criterios identificados en el capítulo 3 los cuales son detallamos nuevamente a continuación:

1. Sistemas de producción y consumo que maximicen la eficiencia de los materiales y la energía y el uso de recursos de múltiples niveles.
2. Uso circular de los flujos de materiales, fuentes de energía renovables y flujos de energía en cascada, que extiendan la vida útil de los materiales.
3. Implementación de la innovación tecnológica, alianzas y colaboraciones entre actores y el impulso de modelos de negocios, complementadas con actividades de apoyo como el reciclaje y otros medios que optimizan la escala y la dirección de los flujos de recursos.
4. Reducción en el uso de materiales vírgenes, ya que no se puede cerrar totalmente el ciclo; minimizando al máximo los residuos del sistema.

## **6.1 Sistema de producción y consumo que maximice la eficiencia de los materiales y la energía**

El sistema de producción y consumo que maximice la eficiencia de los materiales aún no está consolidado y enfrenta diferentes retos, pues la alta generación de RSO en los hogares bogotanos, responde a una lógica de consumo y desecho que no ha podido cambiar por diferentes factores culturales, sociales, normativos, técnicos y económicos (Kharola et al., 2022b; Decreto 1077, 2015) En la ciudad aún no se cuenta con un sistema económico, ni infraestructura ni estrategia que permita maximiza la utilidad energética de los RSO (UAESP, 2016), pues a pesar de tener tecnologías como la planta de compostaje, presentan limitaciones para comercializar **al no obtener la materia prima con la calidad requerida certificado por el ICA** (N. Y. Rincón & Castiblanco, 2021b). Aun no se ha maximizado la eficiencia de los materiales, pues por la poca capacidad de las alternativas existentes en materia de aprovechamiento o su baja capacidad como se evidencio en el capítulo 5, más del 80% de los residuos son llevados al RSDJ y enterrados (OAB, 2023a; UAESP & UN, 2014)

Para cumplir con este criterio del enfoque EC se requiere superar diferentes barreras como son, la inversión en tecnología como los contenedores, la implementación efectiva del IAT y el fortalecimiento de la cultura ciudadana (CONPES 3874, 2016; Gedam et al., 2021; Kharola et al., 2022b), pues permite que los materiales pasen por el ciclo de reincorporación de la cadena de valor (EMAF, 2016). De acuerdo con la descripción realizada en el capítulo 4 actualmente se realiza una inadecuada separación en la fuente, la cual es la barrera principal para que las alternativas de aprovechamiento de RSO implementadas sean eficientes, cuando se cuenta con altos costos en la recolección y transporte, por la inexistencia de una separación previa, pues de acuerdo con los costos de referencia de Área Limpia DC SAS mientras que el costo por tonelada de disposición final era de \$37.853 el costo de recolección y transporte de residuos era casi 3 veces mayor estando en \$104.506 (Area Limpia, 2020).

En el sistema también juega papel importante los recicladores de oficio, quienes sufren estigmatización siendo la fuerza laboral para implementar las alternativas existentes principalmente en la fase de separación en la fuente, pero que como indica (Rodríguez &

Vergara, 2015) tienen dificultades para acceder a condiciones dignas que pueda reconocer su labor. La implementación de la EC permite el aumento de empleos (MADS, 2019), pero si no se logra la dignificación de la labor del reciclador de oficio, es difícil aumentar su productividad e implementar incentivos para ellos.

## **6.2. Uso circular de los flujos de materiales, fuentes de energía renovables y flujos de energía en cascada**

La DA permite la producción de biogás como combustible, energía eléctrica y de bioabonos, que son resultado del proceso de tratamiento de los RSO los cuales se comercializan en el mercado, para ingresar nuevamente al ciclo. Para la producción de biogás, en Bogotá se cuenta con dos alternativas: el biodigestor anaeróbico en el JBB y en la PTAR El Salitre (Acueducto, 2023a), y para la generación de energía eléctrica existe la planta de biogás Doña Juana las cuales representan los principios de la EC, al ingresar en el mercado los productos derivados de la transformación de residuos y utilizarlos para ser autosostenibles, cerrando los ciclos de materiales (Acueducto, 2023a; Colmenares, 2021; El Tiempo, 2021) . De los digestatos resultantes del proceso DA se pueden producir fertilizantes, pero estos procesos actualmente en Bogotá solo se realizan en pequeña escala en la PTAR o en Doña Juana, desconociendo el gran potencial que tiene este tipo de residuos para la elaboración de biocombustibles que puede traer beneficios económicos (MITECO, 2013).

La DA genera externalidades positivas, como la reducción de generación de GEI por el enterramiento de los RSO en el relleno sanitario, apuntando hacia la EC, además de la producción de energía alterna a la de los combustibles fósiles no renovables (Bertolucci Paes et al., 2019). En el compostaje o en las pacas biodigestoras también evidencia los principios de la EC y permite el uso circular del flujo de material donde se aprovechan los nutrientes de los RSO, que son separados y tratados para crear bioabonos como el compost y el humus de lombriz, los cuales son comercializados en constructoras y son usados para la enmienda de suelos, aplicando el principio de “la cuna a la cuna” (Braungart et al., 2007; Prieto & Rayo, 2021; UAESP, 2021b).

De acuerdo con la descripción de las fases de gestión de los RSO existen diferentes barreras que impiden el flujo circular de los materiales, uno de ellos es la normatividad

vigente frente a la comercialización y uso del biogás pues actualmente en el país no existe una política concreta de para el desarrollo del biogás, y aunque solo esta la GREC este no considera proyectos a pequeña escala limitando el desarrollo de tecnologías (N. Y. Rincón & Castiblanco, 2021b).

### **6.3 Innovación tecnológica, alianzas y colaboraciones entre actores y el impulso de modelos de negocios, complementadas con actividades de apoyo como el reciclaje**

Si bien la DA, la planta de biogás, las pacas biodigestoras y la planta de compostaje son innovaciones tecnológicas en materia de la gestión de los RSO, aún persisten retos como el acceso a la información, conocer el incentivo de separación en la fuente- DINC o los requisitos para que los recicladores de oficio puedan presentar proyectos financiados con los recursos del IAT (Bui et al., 2020; Guerrero et al., 2013; Kharola et al., 2022b; Resolución 176 del 30 de marzo, 2020). Hasta el momento no se cuenta con datos actualizados sobre el acceso al IAT debido a que no se encontró literatura relacionada, pero desde su implementación se espera que los recicladores de oficio presenten proyectos innovadores como es el caso de la organización Sineambore en el Mochuelo Bajo, quienes iniciaron con la implementación de una planta de compostaje pequeña y hoy cuenta con ruta selectiva para más de 700 familias (Prieto & Rayo, 2021).

De acuerdo con (Bui et al., 2020) es necesaria la inversión en contenedores específicos para los RSO que facilite la separación, así como la compra de nuevos vehículos de transporte de residuos para los recicladores de oficio, rutas selectivas de RSO y un sistema de información para hacer más eficiente el seguimiento de los RSO por medio de tecnologías existentes en el mundo (Guerrero et al., 2013). Si bien, la generación de energía a partir de los RSO es una de las técnicas más costosas a implementar, con un precio por tonelada 486.2% (\$170.000 pesos/ton) más alto que el precio del relleno (\$29.000 pesos/ton), es necesaria la inversión para reducir los impactos ambientales y transitar hacia la generación y uso de energías renovables (Decreto 1077, 2015).

En el aspecto de colaboración entre actores juega un papel principal los recicladores de oficio, quienes son los encargados de la recolección, transporte y

clasificación del material, pero que enfrentan barreras como la pobreza y la estigmatización, además de que muchos aún no se encuentran formalizados (Rodríguez & Vergara, 2015). En la colaboración también se encuentra el sector público: UAESP, Acueducto y la secretaria de Ambiente; y el sector privado con las empresas que comercializan productos y quienes entregan material, en este caso los hogares (UAESP, 2016)

Aun quedan barreras para lograr que las alternativas existentes cumplan este criterio, por falta de claridad en la normatividad existe y un mercado sólido en materia de RSO. (CONSORCIO NCU- UAESP, 2017).

## **6.4 Reducción en el uso de materiales vírgenes minimizando al máximo los residuos del sistema**

Cada una de las alternativas aplicadas en la ciudad cumplen con este objetivo, dado que se reciclan los RSO para la producción de compostaje, gas y energía, reduciendo el uso de materiales vírgenes y aprovechando los RSO (UAESP, 2016, 2021a). El caso más claro de aplicación de la EC en este aspecto es con la tecnología de DA, pues no solo se produce biogás, sino que el residuo digestato es tratado para la producción de compost y acondicionador de suelos (ICAITI, 1985). En cada una de las alternativas que se están implementando en Bogotá, es necesario revisar su sostenibilidad económica y ambiental y que su producción no demande mayor energía que lo que el producto mismo brinda, porque no se estaría cumpliendo el objetivo de la EC (Korhonen et al., 2001). En ningún caso, habrá un ciclo cerrado del producto porque como ya se ha expuesto en el capítulo al exponer el marco teórico, siempre habrá residuos, pero lo importante es poder aprovecharlos al máximo para reducir los impactos ambientales.

Cada una de las alternativas a implementar requiere de normatividad clara por parte del gobierno nacional y distrital, para fortalecer el sistema de EC, que permita consolidar el mercado del compostaje y el del biogás, este último es la necesidad de tener una regulación específica por parte de la CREG, y no que se rija en los mismos términos del gas natural pues limita la realización de proyectos a pequeña escala y la creación de nuevos modelos de negocio (Ley 1715 de 2014, 2014; CONSORCIO NCU-UAESP, 2017;

N. Y. Rincón & Castiblanco, 2021a). En este papel, entran a jugar diferentes instituciones involucradas en el biogás que requieren de una articulación constante: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT); Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS); Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento (CRA); Sistema Único de Información Superservicios (SSPD); Ministerio de Minas y Energía (MME); CREG; Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME); Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) (N. Y. Rincón & Castiblanco, 2021a).

De cada uno de los procesos surgen subproductos que son aprovechados para combustión, abono y energía eléctrica, que le aportan a la reducción del uso de materiales vírgenes cumpliendo con criterios de EC.

## **6.5 Principal obstáculo para llegar a la EC en el aprovechamiento de RSO**

El cuello de botella de la gestión de los RSO que impide implementar efectivamente la EC es la cultura ciudadana que repercute en una ineficiente separación en la fuente. Si no se dispusieran los residuos de forma mezclada, sería más eficiente los tiempos de selección y recolección por parte de los recicladores de oficio como lo evidenciamos en el capítulo 4, permitiendo así mismo tener los RSO de la forma más limpia para aprovechar al máximo su potencial, evitando la generación de mayores residuos (CONPES 3874, 2016; DANE, 2022b; Kharola et al., 2022a). Si se logran superar las barreras, es posible reducir los residuos enterrados y así mismo la generación de GEI, permitirá avanzar hacia la implementación efectiva de las tecnologías de aprovechamiento que cumpla durante todo el ciclo con los principios de la EC.

Las razones principales para la inadecuada en la separación de acuerdo a lo descrito anteriormente son el desconocimiento de como clasificar los RSO y el desincentivo al ver que los carros recolectores mezclan todo el material (CONPES 3874, 2016; Kharola et al., 2022b; Decreto 1077, 2015). Esto es consecuencia de que se incluyó los RSO como aprovechables hasta el año 2020 en el PGIRS, por lo que no había información clara ni incentivos a proyectos que permitieran la aplicación de nuevas tecnologías de aprovechamiento y tratamiento de RSO con enfoque de EC (UAESP, 2016).

## 7. Conclusiones y recomendaciones

### 7.1 Conclusiones

El trabajo se centró en las alternativas para el aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos-RSO en Bogotá con enfoque de Economía Circular y para responder a la pregunta de investigación, se realizó una descripción de la gestión de los RSO, la identificación de las alternativas de aprovechamiento existentes en la ciudad y un análisis de su implementación enfocadas en EC.

El problema mayor en la gestión de los RSO en Bogotá es la separación en la fuente y la cultura ciudadana, que en el marco de la EC deben ser superadas por medio de incentivos claros, mayor inversión tecnológica, información confiable e infraestructura que la circulación del flujo de materiales, sistemas de producción y consumo que maximicen la eficiencia y aumentar las alternativas existentes.

Con la generación de sistemas para el aprovechamiento de los RSO en Bogotá se puede ayudar a reducir hasta en un 50% el peso de los residuos que se depositan en el relleno sanitario de Bogotá. Este hecho supone el aumento de la vida útil del relleno, mayor facilidad en su operación, además del beneficio ambiental y calidad de vida de las poblaciones que viven cerca de este sitio de disposición final.

Las principales barreras en la gestión de los RSO y en general para la gestión de cualquier tipo de residuos son la ausencia de instalaciones para la separación de los RSO, falta de cultura de separación en la fuente, escasas rutas de recolección selectiva de RSO, obsoleta tecnología de transporte utilizada por los recicladores de oficio y estigmatización de su labor, desconocimientos de los incentivos de aprovechamiento, costos elevados de tecnologías de generación de energía, barreras de acceso a la información y limitantes en

la normatividad para la producción de biogás, que podrían ser solventadas con la aplicación de los criterios del enfoque de EC.

Existen alternativas de aprovechamiento de RSO con las que se produce biogás, bioabono (compost y humus de lombriz) y energía eléctrica en las cuales se observa la aplicación de la EC. La producción de biogás y su tratamiento para producir energía son alternativas innovadoras con inversión tecnológica que le permite avanzar para transitar a un sistema de EC, y que le apunta a la generación de energías limpias para reducir los impactos ambientales, además de reciclar los RSO reduciendo los GEI.

En este caso de estudio, fue interesante verificar que las alternativas de aprovechamiento de RSO existentes aplicadas en Bogotá son pequeñas pero permiten aumentar el porcentaje de aprovechamiento de residuos, pero aún no cumplen con los principios de la EC, pues existen diferentes barreras en la gestión de los RSO que lo impiden lo que conlleva a fortalecer las diferentes fases de la gestión o del ciclo de vida del producto, además de pensar estrategias para implementar el ecodiseño en los productos orgánicos y de buscar ampliar el mercado de los RSO.

Se requiere mayor inversión que viene acompañada de pedagogía para la separación en la fuente, de transparencia en la información y de reformar la normatividad de carácter nacional y distrital para que facilite el mercado de los productos derivados de los RSO y así mismo el reconocimiento y formalización de la labor de los recicladores de oficio.

## **7.2 Recomendaciones**

De acuerdo con todo el análisis desarrollado en el presente trabajo, se requiere superar las barreras para el fortalecimiento del proceso de gestión de RSO como son:

- Fortalecer la separación en la fuente de los RSO por medio de pedagogía, incentivos y sanciones para fomentar la importancia de realizarla pues reduce costos de recolección y aumenta el porcentaje de material aprovechable.
- Se requiere aumentar la inversión para la instalación de contenedores, compra de vehículos adecuados y transporte del material a las plantas de aprovechamiento, para hacerlo más eficiente y frecuente.

- 
- Superar las barreras de información para que los usuarios puedan conocer las alternativas aplicadas, la forma de separar los residuos, los incentivos implementados y obtener información del ciclo de vida del material.
  - Superar las barreras normativas para la generación del biogás a pequeña escala.
  - Aumentar la inversión en tecnologías de aprovechamiento de RSO reducir al máximo la disposición en el RSDJ.

Por último, se deja abierta la posibilidad de evaluar otro tipo de tecnologías a nivel internacional que puedan ser aplicadas en Bogotá para el aprovechamiento de los RSO y que sean más eficientes que las actualmente instaladas.



## Bibliografía

- Acueducto. (2023a). *Informe Mensual de actividades mayo 2023 PTAR El Salitre*.  
[https://www.acueducto.com.co/wpsportal/wps/wcm/connect/EAB2/2b210901-5a6a-408a-96d7-32bed769930b/INFORME+FINAL+MAYO+2023.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE.Z18\\_K862HG82NOTF70QEKDBLFL3000-2b210901-5a6a-408a-96d7-32bed769930b-oACn-eK](https://www.acueducto.com.co/wpsportal/wps/wcm/connect/EAB2/2b210901-5a6a-408a-96d7-32bed769930b/INFORME+FINAL+MAYO+2023.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE.Z18_K862HG82NOTF70QEKDBLFL3000-2b210901-5a6a-408a-96d7-32bed769930b-oACn-eK)
- Acueducto. (2023b). *Biogás*. Acueducto.  
<https://www.acueducto.com.co/wpsportal/wps/portal/EAB2/Home/ambiente/saneamiento/rio-bogota/ptar-salitre/productos-de-la-ptar-salitre/biogas>
- Africano, M. (2021, agosto 8). ¿Sabías que en Doña Juana se aprovechan los gases de los residuos orgánicos? *Bogotá*. <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/habitat/planta-de-biogas-dona-juana-en-bogota>
- AGARWAL, H. P., BARDHAN, S., & DAS, D. (2021). URBAN AGRICULTURE AS A SUSTAINABLE OPTION FOR SOLID WASTE MANAGEMENT: CASE STUDY OF AN INDIAN CITY. *The Sustainable City XV*, 1, 629–640.  
<https://doi.org/10.2495/SC210511>
- Aguado, I., Echebarria, C., & Barrutia, J. (2009). El desarrollo sostenible a lo largo de la historia del pensamiento económico. *Revista de economía mundial*, 21, 87–110.
- Aguilar, M. G., Jaramillo, J. F., Ddiba, D., Páez, D. C., Rueda, H., Andersson, K., & Dickin, S. (2022). Governance challenges and opportunities for implementing resource recovery from organic waste streams in urban areas of Latin America: insights from Chía, Colombia. *Sustainable Production and Consumption*, 30, 53–63.  
<https://doi.org/10.1016/J.SPC.2021.11.025>
- AIDIS-IDRC. (2006). *Directrices para la gestión integrada y sostenible de residuos sólidos urbanos en américa latina y el caribe*.
- Ampese, L. C., Sganzerla, W. G., Di Domenico Ziero, H., Mudhoo, A., Martins, G., & Forster-Carneiro, T. (2022). Research progress, trends, and updates on anaerobic digestion technology: A bibliometric analysis. *Journal of Cleaner Production*, 331, 130004. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.130004>

- Andrews, D. (2015). The circular economy, design thinking and education for sustainability. *Local Economy*, 30(3), 305–315.  
<https://doi.org/10.1177/0269094215578226>
- Area Limpia. (2020). *Tarifas de Aseo Area Limpia*.
- Ariza, C. P., Rueda Toncel, L. A., & Sardoth Blanchar, J. (2018). Anaerobic biodigestion as an energy alternative to reduce the consumption of firewood in rural areas. *Espacios*, 39(39).
- Avendaño García, N., Eduardo Bayona Bonilla Superintendente Delegado para Acueducto, M., Aseo Armando Ojeda Acosta, A., Amanda Bustos Pineda, K., Madrid Gallego, N., Margarita Camelo Olarte, D., & Alejandra Páez Lugo Marlon Jaramillo Zapata Paula Andrea Mora Adán, E. (2021). Informe de disposición final de residuos 2020. *Informe Nacional De Disposición Final De Residuos Sólidos*, 94.  
[https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2022/Ene/informe\\_df\\_2020.pdf](https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2022/Ene/informe_df_2020.pdf)
- Ayres, R. U. (1999). The second law, the fourth law, recycling and limits to growth. *Ecological Economics*, 29(3), 473–483. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(98\)00098-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(98)00098-6)
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2015). *Estudio tecnologías alternativas de disposición final o aprovechamiento de residuos sólidos. Propuesta de ajuste al Decreto 838 de 2005*. .
- Benitez, L. (2022, enero 8). La economía circular se establece en la Industria 4.0. *El País*.  
[https://cincodias.elpais.com/cincodias/2022/07/28/opinion/1659001171\\_357452.html](https://cincodias.elpais.com/cincodias/2022/07/28/opinion/1659001171_357452.html)
- Bertolucci Paes, L. A., Stolte Bezerra, B., Mattos Deus, R., Jugend, D., & Gomes Battistelle, R. A. (2019). Organic solid waste management in a circular economy perspective – A systematic review and SWOT analysis. *Journal of Cleaner Production*, 239. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118086>
- Bogotá. (2021). *¿Sabías que en Doña Juana se aprovechan los gases de los residuos orgánicos?* <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/habitat/planta-de-biogas-dona-juana-en-bogota>
- Bogotá, S. D. de A. (2023). *Observatorio Ambiental de Bogotá*.
- Boulding, K. (1966). *The Economics of the Spaceship Earth* (H. Jarrett, Ed.). Environmental Quality Issues in a Growing Economy, Johns Hopkins University Press, Baltimore.  
[https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=n0g4DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA27&ots=R0ghpSMq02&sig=unmLfJ8E9N0w63d\\_U9Z1eRg1Z9A&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=n0g4DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA27&ots=R0ghpSMq02&sig=unmLfJ8E9N0w63d_U9Z1eRg1Z9A&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

- Braungart, M., McDonough, W., & Bollinger, A. (2007). Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions - a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of Cleaner Production*, 15(13–14), 1337–1348. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.08.003>
- Bui, T. D., Tsai, F. M., Tseng, M.-L., & Ali, M. H. (2020). Identifying sustainable solid waste management barriers in practice using the fuzzy Delphi method. *Resources, Conservation and Recycling*, 154.
- CAF. (2018). *Economía circular e innovación tecnológica en residuos sólidos Oportunidades en América Latina* (CAF, Ed.).
- Camelo, D. (2022). *Huertas Urbanas: ¿Qué son y cuántas hay en Bogotá?* <https://oab.ambientebogota.gov.co/huertas-urbanas-que-son-y-cuantas-hay-en-bogota/>
- Camelo, D., Paez, E., Jarramillo, M., & Mora, P. (2023). *Informe Nacional de Disposición Final de Residuos Sólidos 2021*.
- Concepto 28031, COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO (2023). [https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/concepto\\_cra\\_0028031\\_2023.htm](https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/concepto_cra_0028031_2023.htm)
- Castañeda Torres, S., & Rodríguez Miranda, J. P. (2017). Modelo de aprovechamiento sustentable de residuos sólidos orgánicos en Cundinamarca, Colombia. *Universidad y Salud*, 19(1), 116. <https://doi.org/10.22267/rus.171901.75>
- Celestino, É., Carvalho, A., & Palma-Oliveira, J. M. (2022). Household organic waste: Integrate psychosocial factors to define strategies toward a circular economy. En *Journal of Cleaner Production* (Vol. 378). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134446>
- Chavan, S., Yadav, B., Atmakuri, A., Tyagi, R. D., Wong, J. W. C., & Drogui, P. (2022). Bioconversion of organic wastes into value-added products: A review. *Bioresource Technology*, 344, 126398. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2021.126398>
- Chertow, M. R. (2008). Industrial ecology in a developing context. *Sustainable Development and Environmental Management: Experiences and Case Studies*, 335–349. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8229-0\\_24](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8229-0_24)
- Chew, Z. T., Hoy, Z. X., Woon, K. S., & Liew, P. Y. (2022). Integrating greenhouse gas reduction and waste policy targets to identify optimal waste treatment configurations via Carbon Emission Pinch Analysis. *Process Safety and Environmental Protection*, 160, 661–675. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.02.060>

- Chusov, A., Maslikov, V., Badenko, V., Zhazhkov, V., Molodtsov, D., & Pavlushkina, Y. (2021). Biogas Potential Assessment of the Composite Mixture from Duckweed Biomass. *Sustainability*, 14(1), 351. <https://doi.org/10.3390/SU14010351>
- Clavijo, A. (2023, febrero). La UAESP recibió \$1.592 millones por la operación de la Planta Biogás Colombia. *UAESP*. <https://www.uaesp.gov.co/noticias/la-uaesp-recibio-1592-millones-la-operacion-la-planta-biogas-colombia>
- Cobo, S., Levis, J. W., Dominguez-Ramos, A., & Irabien, A. (2019). Economics of Enhancing Nutrient Circularity in an Organic Waste Valorization System. *Environmental Science and Technology*, 53(11), 6123–6132. <https://doi.org/10.1021/ACS.EST.8B06035>
- Colmenares, D. (2021, marzo). Bogotá cuenta con planta de tratamiento de residuos orgánicos. *Asocapitales*. <https://www.asocapitales.co/nueva/2021/03/23/bogota-cuenta-con-planta-de-tratamiento-de-residuos-organicos/>
- Colombo, C. V., & Rodriguez Cuevas, A. (2020). Biogas generation from different organic waste: Case studies of Bioremediation and community development in Argentina and Dominican Republic. *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.211>
- COM. (2015). Comunicación de la Comisión al Parlamento europeo, al Consejo, al Comité económico y social europeo y al Comité de las regiones - Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, 2 de diciembre de 2015 (614), 1–24.
- Ley 1715 de 2014, (2014).
- CONPES 3874. (2016). Política Nacional Para La Gestión Integral De Residuos Sólidos. *Departamento Nacional de Planeación*, 73. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/3874.pdf>
- CONSORCIO NCU- UAESP. (2017). *Realizar el estudio técnico de la caracterización en la fuente de residuos sólidos generados en la Ciudad de Bogotá Distrito Capital por tipo de generador y establecer el uso de métodos alternativos de transporte para materiales aprovechables*.
- CONSORCIO NCU-UAESP. (2017). *Realizar el estudio técnico de la caracterización en la fuente de residuos sólidos generados en la Ciudad de Bogotá Distrito Capital por tipo de generador y establecer el uso de métodos alternativos de transporte para materiales aprovechable* (Número 443).
- Resolución CRA 0720, (2015).

- DANE. (2020). *Proyecciones de viviendas y hogares*.  
<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-viviendas-y-hogares>
- DANE. (2022a). *Cuenta ambiental y económica de flujo de materiales*.  
<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/ambientales/cuenta-satelite-ambiental-csa# cuenta-ambiental-y-economica-de-flujos-de-materiales-residuos-solidos-caefm-rs>
- DANE. (2022b). *Economía Circular sexto reporte 2022*.
- Ddiba, D., Andersson, K., Rosemarin, A., Schulte-Herbrüggen, H., & Dickin, S. (2022). The circular economy potential of urban organic waste streams in low- and middle-income countries. *Environment, Development and Sustainability*, 24(1), 1116–1144.  
<https://doi.org/10.1007/S10668-021-01487-W>
- DNP, Alberto Bula Torres Beatriz Giraldo Castaño Bibiana Guerra de los Ríos Edna Liliana Morales Sierra Diseño diagramación Lisandro Hernández Aponte, R., Vivienda, M. DE, & Territorio Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible Superintendencia De Servicios Públicos Domiciliarios Comisión De Regulación De Agua Potable Y Saneamiento Básico, C. Y. (2022). *Guía nacional para la adecuada separación de residuos sólidos 2022*.
- Durán, P. P., Camilo, J., Parra, S., Ávila, G. P., Kelly, F., Alvarado, J. B., Ospina, J. R., Montoya, G. S., & Urrego, E. (2022). *AVANCES DEL ACUERDO 344 DE 2008 “POR EL CUAL SE DISPONE DISEÑA Y EJECUTA UN PROGRAMA PARA LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS Y SE DICTAN OTRAS DISPOSICIONES”*.  
<https://www.uaesp.gov.co/sites/default/files/documentos/AVANCES%20DEL%20ACUERDO%20344%20DE%202008.pdf>
- El Espectador. (2022, marzo 9). *Contenedores soterrados: La propuesta para las basuras en espacios públicos*. <https://www.elespectador.com/bogota/ya-se-comienzan-a-observar-los-primeros-contenedores-soterrados-en-bogota/>
- El Espectador. (2023, abril). Lo que tiene que saber para entender el litigio UAESP vs. CGR por relleno Doña Juana. *ELESPECTADOR.COM*.  
<https://www.elespectador.com/bogota/lo-que-tiene-que-saber-para-entender-el-litigio-uaesp-vs-cgr-por-dona-juana/>
- El Tiempo. (2020). ¿Por qué el relleno de Doña Juana está en el ojo del huracán? En *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/bogota/que-pasa-en-el-relleno-de-dona-juana-despues-de-deslizamiento-490286>

- El Tiempo. (2021, agosto). Desechos del relleno sanitario Doña Juana producen energía. *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/bogota/el-relleno-sanitario-dona-juana-produce-energia-a-traves-de-residuos-610288>
- EMAF. (2013). Towards the circular economy. Economic and business rationale for an accelerated transition. *Russian Economic Developments (in Russian)*, 8, 26–29.
- EMAF. (2016). *Hacia una economía circular: Motivos económicos para una transición acelerada*.
- EMAF. (2021). *El gran rediseño de los alimentos REGENERANDO LA NATURALEZA CON LA ECONOMÍA CIRCULAR*.
- EMAF. (2023). *Es hora de crear una economía circular*.  
<https://ellenmacarthurfoundation.org/es>
- Environment, U. N. (2021). *Food Waste Index Report 2021*.
- FAO, PNUD, FAO, & Ministerio de Energía de Chile. (2011). *Manual del biogas*.
- Fei, F., Wen, Z., & Ri, S. (2022). Urban biowaste integrated management based on synergy mechanism and multi-objective optimization: A case study in Suzhou, China. *Science of the Total Environment*, 823.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153691>
- Figge, F., Thorpe, A. S., & Gutberlet, M. (2023). Definitions of the circular economy: Circularity matters. *Ecological Economics*, 208, 107823.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.107823>
- Gedam, V. V., Raut, R. D., Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Tanksale, A. N., & Narkhede, B. E. (2021). Circular economy practices in a developing economy: Barriers to be defeated. *Journal of Cleaner Production*, 311, 127670.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127670>
- Gencat. (2023). *Digestión anaerobia*. Agència de Residus de Catalunya.  
[http://residus.gencat.cat/es/ambits\\_dactuacio/valoritzacio\\_reciclatge/instal\\_lacions\\_d\\_e\\_gestio/tractament\\_biologic/digestio\\_anaerobia/](http://residus.gencat.cat/es/ambits_dactuacio/valoritzacio_reciclatge/instal_lacions_d_e_gestio/tractament_biologic/digestio_anaerobia/)
- Georgescu-Roegen, N. (1971). *The Entropy Law and the Economic Process*. Harvard University Press .
- Gonzalez, P., Rodríguez, J. A., Toro, A. M., Ubaque, N., Quijano, A. L., Avila, L., & Pedroza, M. C. (2023). *Informe Sectorial de Aprovechamiento 2021*.
- Grisales, S., Germán, R., & Ramírez<sup>2</sup>, A. (2017). *Análisis comparativo sobre las tecnologías de la digestión anaerobia húmeda y seca*.

- Guerrero, L. A., Maas, G., & Hogland, W. (2013). Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Management*, 33(1), 220–232. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.008>
- Gupta, R., Miller, R., Sloan, W., & You, S. (2022). Economic and environmental assessment of organic waste to biomethane conversion. *Bioresource Technology*, 345. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126500>
- Hernández Cervantes, T. (2008). BREVE EXPOSICIÓN DE LAS CONTRIBUCIONES de Georgescu Roegen a la economía ecológica y un comentario crítico. *Argumentos*, 56, 35–55.
- Hettiarachchi, H., Meegoda, J. N., & Ryu, S. (2018). Organic waste buyback as a viable method to enhance sustainable municipal solid waste management in developing countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(11). <https://doi.org/10.3390/ijerph15112483>
- ICAITI. (1985). *BIOGAS Y BIOABONO APLICACIONES*.
- Jain, M., & Pal, A. (2020). *Organic Waste Management*. <http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=worlddevel>
- Juárez, D. M., Moreno, M. E. C., & Hernández, M. A. M. (2008). Aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos urbanos para producir biogás. *Ingeniería Química*, 40(455), 198–208.
- Kaza, B. S., Shrikanth, S., & Chaudhary, S. (2021). *More growth, less garbage*.
- Kharola, S., Ram, M., Goyal, N., Mangla, S. K., Nautiyal, O. P., Rawat, A., Kazancoglu, Y., & Pant, D. (2022a). Barriers to organic waste management in a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 362(November 2021), 132282. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132282>
- Kharola, S., Ram, M., Goyal, N., Mangla, S. K., Nautiyal, O. P., Rawat, A., Kazancoglu, Y., & Pant, D. (2022b). Barriers to organic waste management in a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 362. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132282>
- Knickmeyer, D. (2020). Social factors influencing household waste separation: A literature review on good practices to improve the recycling performance of urban areas. *Journal of Cleaner Production*, 245, 118605. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118605>
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 143, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>

- Korhonen, J., Wihersaari, M., & Savolainen, I. (2001). Industrial ecosystem in the Finnish forest industry: using the material and energy flow model of a forest ecosystem in a forest industry system. En *Ecological Economics* (Vol. 39). [www.elsevier.com/locate/ecocon](http://www.elsevier.com/locate/ecocon)
- Kumar, S., Smith, S. R., Fowler, G., Velis, C., Kumar, S. J., Arya, S., Rena, Kumar, R., & Cheeseman, C. (2017). Challenges and opportunities associated with waste management in India. En *Royal Society Open Science* (Vol. 4, Número 3). Royal Society. <https://doi.org/10.1098/rsos.160764>
- La Republica. (2022). Bogotá desperdicia 52% de alimentos provenientes de residuos, según estudios. *Diario La República*. <https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/bogota-desperdicia-52-de-alimentos-provenientes-de-residuos-segun-estudios-3319085>
- Lett, L. A. (2014). Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular. *Revista Argentina de Micrología*, 46(1), 1–2. [https://doi.org/10.1016/S0325-7541\(14\)70039-2](https://doi.org/10.1016/S0325-7541(14)70039-2)
- Liu, Y., Ni, Z., Kong, X., & Liu, J. (2017). Greenhouse gas emissions from municipal solid waste with a high organic fraction under different management scenarios. *Journal of Cleaner Production*, 147, 451–457. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.135>
- Lorenzo, Y., & Obaya, C. (2005). La Digestión anaeróbica. Aspectos Teóricos. Parte I. *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)*. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120659006>
- MADS. (2019). *Estrategia Nacional de Economía Circular*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. [http://www.andi.com.co/Uploads/Estrategia Nacional de Economía Circular-2019 Final.pdf\\_637176135049017259.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/Estrategia Nacional de Economía Circular-2019 Final.pdf_637176135049017259.pdf)
- MAG Consultoría S.A.S. (2021). *Tratamiento de residuos sólidos en el marco del servicio público de aseo*. [https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/20210830-reporte-final-wb\\_v3\\_0.pdf](https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/20210830-reporte-final-wb_v3_0.pdf)
- Mapura, D., & Cardona, L. (2022). *Análisis costo - beneficio del proceso de aprovechamiento de residuos orgánicos para el proyecto de huertas urbanas en Compensar calle 220 y Cajicá* [Universidad de la Salle]. [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=3016&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=3016&context=ing_ambiental_sanitaria)
- Masullo, A. (2017). Organic wastes management in a circular economy approach: Rebuilding the link between urban and rural areas. *Ecological Engineering*, 101, 84–90. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2017.01.005>

- Mena, M. (2022). Infografía: Un mundo de residuos. En *Statista Infografías*.  
<https://es.statista.com/grafico/27140/desechos-solidos-municipales-generados-per-capita-al-ano/>
- Mendoza, G. G. Q., & Gámez, M. R. (2022). Introducción de sistema de captura de biogás en el relleno sanitario de la ciudad de Portoviejo. *Ingeniería Energética*, XLIII(2), 90–98. <https://www.redalyc.org/journal/3291/329173953003/html/>
- Resolución No. 2184, Pub. L. No. 2184 (2019).
- Minsalud. (2012). *Diagnostico Nacional de Salud Ambiental*.  
[https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IGUB/Diagnostico de salud Ambiental compilado.pdf](https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IGUB/Diagnostico%20de%20salud%20Ambiental%20compilado.pdf)
- Resolución 1045, (2003).
- Decreto 1077, Pub. L. No. Decreto 1077 de 2015 (2015).  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=77216>
- Decreto 596, (2016).
- Decreto 1784, (2017).  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=84140>
- Resolución 176 del 30 de marzo, (2020). chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/0176%20-%202020.pdf>
- Decreto 802, (2022).
- Mirabella, N., Castellani, V., & Sala, S. (2014). Current options for the valorization of food manufacturing waste: A review. En *Journal of Cleaner Production* (Vol. 65, pp. 28–41). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.051>
- MITECO. (2013). *Guía para la implantación de la recogida separada y gestión de biorresiduos de competencia municipal*. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/guia-para-implantacion-recogida-separada-gestion-biorresiduos-competencia-municipal.html>
- Moh, Y., & Abd Manaf, L. (2017). Solid waste management transformation and future challenges of source separation and recycling practice in Malaysia. *Resources, Conservation and Recycling*, 116, 1–14.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.09.012>
- Molano, F. (2019). El relleno sanitario Doña Juana en Bogotá : la producción política de un paisaje tóxico 1988-2019. *Historia crítica No. 74*, 127–149.

- Momcilovic, A., Stefanovic, G., Milutinovic, B., Ivanovic, M., & Alsheyab, M. A. T. (2017). Model of organic waste management in terms of circular economy: A case study City of Niš. *30th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, ECOS 2017*.
- Montes, R. (2020). *Camino de la Transformación: propuesta tecnológica para el avance de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*.  
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20325.83689>
- Novelli, V., Geatti, P., Ceccon, L., & Gratton, S. (2019). Biomass exploitation for energy supply and quality compost production. An exemplary case of circular economy in the North east of Italy. *Environmental Engineering and Management Journal*, 18(10), 2163–2169.
- OAB. (2022, marzo). “Doña Juana” recibió casi 3 millones de toneladas de residuos en 2021. <https://oab.ambientebogota.gov.co/relleno-dona-juana-recibio-casi-3-millones-de-toneladas-de-residuos-en-2021/>
- OAB. (2023a). *Observatorio Ambiental de Bogotá*.  
<https://oab.ambientebogota.gov.co/indicadores/?id=37&v=l>
- OAB. (2023b, septiembre 6). *Programa Basura Cero en Bogotá 2023*.  
<https://oab.ambientebogota.gov.co/programa-basura-cero/>
- Organizacion de las naciones Unidas - Medio Ambiente (ONU Medio Ambiente). (2018). *Perspectiva de la Gestión de Residuos en América Latina y el Caribe Perspectiva de la Gestión de Residuos en América Latina y el Caribe*.
- Ossa, L. (2016). Pacas biodigestoras: De los residuos al abono orgánico. *Experimenta*, 6, 27–27. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/experimenta/article/view/325489>
- Ossa-Carrasquilla, L. C., Correa-Ochoa, M. A., & Múnera-Porras, L. M. (2020). The biodigester bale as an organic waste treatment strategy: A bibliographic review. *Produccion y Limpia*, 15(2), 71–91. <https://doi.org/10.22507/PML.V15N2A4>
- Pan, S. Y., Du, M. A., Huang, I. Te, Liu, I. H., Chang, E. E., & Chiang, P. C. (2015). Strategies on implementation of waste-to-energy (WTE) supply chain for circular economy system: a review. *Journal of Cleaner Production*, 108, 409–421.  
<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2015.06.124>
- Park, J., & Batchelor, B. (2002). *A multi-component numerical leach model coupled with a general chemical speciation code*. 36, 156–166.
- Pearce, D., & Turner, K. (1990). *Economía de los recursos naturales y del medio ambiente*.
- Pedreño, N. (1995). *Residuos orgánicos y agricultura*. (Número May 2014).

- Pérez-Piqueres, A., Moreno, R., López-Martínez, M., Albiach, R., Ribó, M., & Canet-Castelló, R. (2018). Composts and Organic By-Products in *Pinus halepensis* Forestry. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2. <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2018.00056>
- Petit-Boix, A., & Leipold, S. (2018). Circular economy in cities: Reviewing how environmental research aligns with local practices. *Journal of Cleaner Production*, 195, 1270–1281. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.281>
- Prieto, L. P., & Rayo, S. (2021). *Reciclaje Popular, la otra cara de Doña Juana Una Mirada al Proceso de Gestión Ambiental de Residuos de la Asociación de Recicladores SINEAMBORE y la comunidad de Mochuelo Bajo desde el Trabajo Social durante el año 2021*. <https://repositorio.unicolmayor.edu.co/bitstream/handle/unicolmayor/5478/Trabajo%20de%20grado%20Reciclaje%20popular%202021-2.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Rajabi Hamedani, S., Villarini, M., Colantoni, A., Carlini, M., Cecchini, M., Santoro, F., & Pantaleo, A. (2020). Environmental and economic analysis of an anaerobic co-digestion power plant integrated with a compost plant. *Energies*, 13(11), 2724. <https://doi.org/10.3390/en13112724>
- Ramirez, L. (2021). “La Basura no es Basura”, separemos los residuos según el color de la bolsa. *Bogotá.gov.co*. <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/habitat/la-basura-no-es-basura-separa-los-residuos-segun-el-color-de-bolsa>
- Ramos, P. (2020). Una tecnología equivocada, el problema del Relleno Sanitario Doña Juana. *UN periodico*. <https://unperiodico.unal.edu.co/pages/detail/una-tecnologia-equivocada-el-problema-del-relleno-sanitario-dona-juana/>
- Rashid, M. I., & Shahzad, K. (2021). Food waste recycling for compost production and its economic and environmental assessment as circular economy indicators of solid waste management. *Journal of Cleaner Production*, 317. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.128467>
- Decreto 2412, (2018). <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=89969>
- Riechmann, J. (2006). *Biomímesis: Respuesta a algunas objeciones*. 17.
- Riechmann, J. (2015). Un poquito de física, un poquito de matemáticas, un poquito de economía política. *Idearia*.
- Rincón, J., Franco, M.-L., Carpio, J. C., & Hernández, M. (2019). *Share, Optimise, Closed-Loop for Food Waste (SOL4FoodWaste): The Case of Walmart-Mexico*. 165–190. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-92931-6\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-92931-6_9)

- Rincón, N. Y., & Castiblanco, C. (2021a). Políticas y normas sobre energías renovables para el desarrollo de biogás en Colombia. Una revisión. *Gestión y Ambiente*, 24(1), 98868. <https://doi.org/10.15446/ga.v24n1.98868>
- Rincón, N. Y., & Castiblanco, C. (2021b). Políticas y normas sobre energías renovables para el desarrollo de biogás en Colombia. Una revisión. *Gestión y Ambiente*, 24(1), 98868. <https://doi.org/10.15446/ga.v24n1.98868>
- Rivera, Y. (2023, marzo 28). Ni un peso más a contratista incumplido: Alcaldesa en debate por CGR Doña Juana. *Bogotá. Ni un peso más a contratista incumplido: Alcaldesa en debate por CGR Doña Juana*
- Rodríguez, K., & Vergara, R. (2015). *Condiciones sociales y culturales de los recicladores en Colombia*.
- Rojas, A., Yabar, H., Mizunoya, T., & Higano, Y. (2018). The potential benefits of introducing informal recyclers and organic waste recovery to a current waste management system: The case study of Santiago de Chile. *Resources*, 7(1). <https://doi.org/10.3390/resources7010018>
- Sáez, A., & Urdaneta, J. A. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. En *Omnia Año* (Vol. 20, Número 3).
- Scarlat, N., Dallemand, J.-F., & Fahl, F. (2018). Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy*, 129, 457–472. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.006>
- Segura, Á., Rojas, L., & Pulido, Y. A. (2020). Referentes mundiales en sistemas de gestión de residuos sólidos Global references in solid waste management systems. *Revista Espacios*, 41(17), 22. <http://es.revistaespacios.com/a20v41n17/a20v41n17p22.pdf>
- Semana. (2020a). ¿A dónde va la basura del mundo? En *Semana.com Últimas Noticias de Colombia y el Mundo*. <https://www.semana.com/mundo/articulo/crisis-de-basuras-en-el-mundo-ya-no-hay-espacio-para-tirar-ni-reciclar/650187/>
- Semana. (2020b, abril 28). Investigan deslizamiento en relleno sanitario Doña Juana, en el sur de Bogotá. *Revista Semana*. <https://www.semana.com/nacion/articulo/investigacion-deslizamiento-en-relleno-sanitario-dona-juana-en-el-sur-de-bogota/666801>
- Semana. (2022, enero 30). *Bogotá, abandonada en medio de basuras, deterioro y uso masivo del espacio público*. <https://www.semana.com/nacion/articulo/bogota-abandonada-a-merced-de-las-basuras-el-deterioro-y-el-uso-masivo-del-espacio-publico/202206/>

- Silva, G. (2018). ¿Qué es la paca digestora silva? Un Reciclaje Orgánico Limpio y Saludable,. *Revista TECSISTECATL*.  
<https://www.eumed.net/rev/tecsistecatln23/paca-digestora-silva.html>
- Smith, N. (2019). *Us tops list of countries fuelling the mounting waste crisis*. Verisk Maplecroft. MaplecroftVerisk. <https://www.maplecroft.com/insights/analysis/us-tops-list-of-countries-fuelling-the-mounting-waste-crisis/>
- Smith, R. L., Sengupta, D., Takkellapati, S., & Lee, C. C. (2015). An industrial ecology approach to municipal solid waste management: II. Case studies for recovering energy from the organic fraction of MSW. *Resources, Conservation and Recycling*, 104, 317–326. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.05.016>
- Stahel, W. R. (2016). The circular economy. *Nature*, 531(7595), 435–438.  
<https://doi.org/10.1038/531435a>
- Subbarao, P. M. V, D' Silva, T. C., Adlak, K., Kumar, S., Chandra, R., & Vijay, V. K. (2023). Anaerobic digestion as a sustainable technology for efficiently utilizing biomass in the context of carbon neutrality and circular economy. *Environmental Research*, 234, 116286. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116286>
- Sudarsan, N., Manoj, R., M, N. P., Sivaprakasam, M., & Joseph, J. (2022). Association of Windkessel Model Parameters with Local and Regional Aortic Stiffness Indices. *2022 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/MeMeA54994.2022.9856432>
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2023). *Suscriptores beneficiarios de separación en la fuente-DINC - Resolución SSPD N° 20184300130165 de 2018*.  
<http://sui.superservicios.gov.co/Reportes-del-sector/Aseo/Reportes-comerciales/Suscriptores-beneficiarios-de-separacion-en-la-fuente-DINC-Resolucion-SSPD-N%C2%B0-20184300130165-de-2018>
- UAESP. (2016). *Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos - PGIRS 2016-2018*. Alcaldía Mayor de Bogotá.  
[http://www.uaesp.gov.co/images/Actualizacion\\_PGIRS\\_20161018\\_Completo.pdf](http://www.uaesp.gov.co/images/Actualizacion_PGIRS_20161018_Completo.pdf)
- UAESP. (2018). *Avanza la Contenerización de Residuos en Bogotá*.  
<https://www.uaesp.gov.co/noticias/contenerizacion-residuos-bogota>
- UAESP. (2020a). Documento Técnico soporte del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos. En 2020.  
<https://www.uaesp.gov.co/transparencia/planeacion/planes/documento-tecnico-soporte-del-pgirs>
- UAESP. (2020b). *Documento Técnico Soporte del Plan Integral de Residuos Sólidos*.

- UAESP. (2020c, octubre 27). *Puntos Críticos*.  
[https://www.uaesp.gov.co/especiales/puntos\\_criticos/](https://www.uaesp.gov.co/especiales/puntos_criticos/)
- UAESP. (2021a). *Modelo de Aprovechamiento*.
- UAESP. (2021b). *LA UAESP Tecnifico la planta de residuos orgánicos en el Mochuelo*.  
<https://www.uaesp.gov.co/noticias/la-uaesp-tecnifico-la-planta-residuos-organicos-mochuelo>
- UAESP. (2022a). *INFORME DE SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS*.  
<https://www.uaesp.gov.co/transparencia/planeacion/planes/decreto-345-del-2020>
- UAESP. (2022b). *MANUAL DE ACCIONES AFIRMATIVAS PARA LA POBLACIÓN RECICLADORA DE OFICIO DE LA CIUDAD DE BOGOTA D.C.*
- UAESP. (2022c). *Respuesta Derecho de petición Radicado UAESP No. 20227000162742*.
- UAESP. (2022d). *Observatorio de Residuos Sólidos de Bogotá*.  
<https://www.uaesp.gov.co/content/observatorio-residuos-solidos>
- UAESP. (2023a). *INFORME DE GESTIÓN UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE SERVICIOS PÚBLICOS-UAESP (2022)*.
- UAESP. (2023b). *INFORME MENSUAL DE SUPERVISIÓN, MONITOREO Y CONTROL*.
- UAESP. (2023c). *Registro Unico de Recicladores de Oficio - RURO*.  
<https://www.uaesp.gov.co/content/generalidades-del-registro-unico-registradores-oficio-ruro>
- UAESP, & UN. (2014). *GUÍA TÉCNICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS A TRAVÉS DE METODOLOGÍAS DE COMPOSTAJE Y LOMBRICULTURA*.
- UNAL. (2018). Digestión anaerobia es viable para el manejo seguro de basuras.  
*Periódico UNAL*. <https://periodico.unal.edu.co/articulos/digestion-anaerobia-es-viable-para-el-manejo-seguro-de-basuras/>
- Valencia, S. (2022). Pacas biodigestoras: Una solución para aprovechar los residuos orgánicos. En *Facultad de Minas Universidad Nacional de Colombia*.  
<https://minas.medellin.unal.edu.co/noticias/5036-pacas-biodigestoras-una-solucion-para-aprovechar-los-residuos-organicos>
- Vega, L., & Herrera, A. (2018). Evaluación del potencial energético de la madera residual urbana mediante gasificación. *Informador Técnico*, 82(1), 26.  
<https://doi.org/10.23850/22565035.888>

- Venegas, Ma. (2019). *INFLUENCIA DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA CONVENCIONAL Y AVANZADA SOBRE LA COMPOSICIÓN Y FITOTOXICIDAD DEL BIOSÓLIDO: HACIA UN USO BENÉFICO*.  
[http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/796/1/Tesis\\_INFLUENCIA%20DE%20LA%20DIGESTI%C3%93N.Image.Marked.pdf](http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/796/1/Tesis_INFLUENCIA%20DE%20LA%20DIGESTI%C3%93N.Image.Marked.pdf)
- Veolia. (2020). *La recuperación de residuos orgánicos*.
- WBG. (2018). *What a Waste 2.0 A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. World Bank Group. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>
- Weiland, P. (2010). Biogas production: current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(4), 849–860. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2246-7>
- Wu, H. Q., Shi, Y., Xia, Q., & Zhu, W. D. (2014). Effectiveness of the policy of circular economy in China: A DEA-based analysis for the period of 11th five-year-plan. *Resources, Conservation and Recycling*, 83, 163–175.  
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.10.003>
- Zambrano, D. (2020). *Comercialización y abono orgánico de producción comunitaria*. UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA .
- Zamri, M. F. M. A., Hasmady, S., Akhilar, A., Ideris, F., Shamsuddin, A. H., Mofijur, M., Fattah, I. M. R., & Mahlia, T. M. I. (2021). A comprehensive review on anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137, 110637.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110637>