

**Alternativas eficaces de tratamiento y disposición final de residuos sólidos en la
ciudad de Bogotá D.C.**

Elaborado por:
Camilo Chamat Cujia
Santiago Barbosa Buitrago

Universidad Ean
Especialización en Gerencia de Proyectos
Seminario de Investigación
Bogotá
06/06/2023

Tabla de Contenido

Resumen	1
Problema de Investigación	2
Objetivos	4
Objetivo general	4
Objetivos específicos	4
Justificación.....	5
Marco Teórico	6
Marco Institucional	10
Metodología de investigación	12
Enfoque, alcance y diseño de la investigación.....	12
Selección de métodos e instrumentos para recolección de información.....	12
Técnicas de análisis de datos.....	15
Informe técnico de resultados	16
Análisis y discusión de resultados.....	16
Conclusiones	29
Lista de Referencias	32

Resumen

El crecimiento de la población en la ciudad de Bogotá D.C. ha desencadenado una crisis ambiental en el principal relleno sanitario de la ciudad, con impacto negativo en las comunidades aledañas. Este trabajo de investigación analiza el comportamiento de la generación de los residuos sólidos llevados a disposición final en el relleno sanitario durante los últimos 10 años y propone como alternativas eficaces de tratamiento y disposición final que pueden aplicarse en la ciudad la separación en la fuente, el reciclaje, el compostaje y la generación de energía; las cuales se implementan en otros países, así como una revisión a los mecanismos que permiten garantizar la participación ciudadana en la política pública ambiental.

Palabras clave: residuos sólidos, relleno sanitario, gestión ciudadana, política ambiental, economía circular.

Problema de Investigación

La ciudad de Bogotá D.C. es considerada como una de las metrópolis más prosperas y de mayor atracción de inversión industrial en Latinoamérica, económicamente es considerada como una ciudad que reúne factores determinantes en cuanto a infraestructura, ciencia y tecnología, crecimiento, sostenibilidad y tamaño de mercado, (Martínez, 2014).

Conforme a la información reportada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, dentro del Producto Interno Bruto (PIB) nacional, la economía en Bogotá tiene un peso del 26,0%, recogiendo 17,7% de las unidades económicas del país, seguido de Antioquia que representa un valor agregado del 14,9% concentrando 11,6% de las unidades económicas el país (DANE, 2021); las principales actividades económicas son de tipo comercial, industrial y turismo de las cuales se destacan comercio de vehículos automotores y motocicletas, prendas de vestir y calzado, productos farmacéuticos, medicinales y odontológicos, artículos de perfumería y cosméticos e incremento en la ocupación hotelera (Cámara de Comercio de Bogotá, 2023), de acuerdo con el último censo poblacional DANE 2018 la ciudad contaba con 7.181.469 habitantes con un incremento porcentual de población del 6,5% en el periodo intercensal 2005-2018 (Función Pública, 2019), ahora bien teniendo en cuenta las proyecciones de población presentadas por la Alcaldía Mayor de Bogotá y la Secretaría Distrital de Planeación D.C. para el año 2030 se espera llegar a albergar 8.434.700 de habitantes (DANE, 2023).

Paralelamente, esta masificación y crecimiento de las actividades económicas en la ciudad ha dado lugar a un problema de índole ambiental y social en cuanto al manejo requerido para los residuos sólidos que se producen a diario; en 1988 el Distrito inició la operación del relleno sanitario Doña Juana, el cual tenía como objeto la recepción de los residuos sólidos generados por los habitantes de la ciudad de Bogotá D.C. como una medida de mitigación y control.

Sin embargo, la operación de este relleno sanitario no fue como se esperaba dado que desde su comienzo ha tenido implicaciones negativas en los aspectos ambientales y socioeconómicos de la población circundante desde selección de predio, tecnología de tratamiento, gestión de la operación y regulación por parte de los entes gubernamentales de control, llegando a ser considerado como la conformación y creación de un paisaje tóxico

urbano (Camargo, 2019), lo que ha causado la contaminación indiscriminada de fuentes hídricas superficiales y subterráneas, alteración en la morfología del terreno y generación de olores y vectores, afectando a las comunidades aledañas.

En concordancia, tal como lo indican las cifras presentadas por la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos - UAESP, al relleno sanitario Doña Juana le queda un año de operación, dado que su vida útil se encuentra proyectada hasta el 2023 (Observatorio Ambiental de Bogotá, 2022), por lo cual la ciudad se encuentra en un momento determinante respecto al presente y futuro en la gestión íntegra de residuos sólidos. Se debe tener en cuenta que el incremento porcentual de población de los últimos 13 años ha sido a un ritmo del 6.5%, lo que implica que el índice per cápita en la generación de residuos de la población sea de 6.287,85 toneladas día, para los cuales no hay una segregación en planta de clasificación que permita su aprovechamiento, y con el paso de los años esta cantidad de residuos llevados a disposición final irá en aumento, disminuyendo la vida útil del relleno sanitario Doña Juana (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, República de Colombia., 2020).

Por lo anterior, es fundamental que la ciudad de Bogotá D.C. cuente con alternativas de tratamiento y disposición final que provean una solución definitiva al relleno sanitario Doña Juana, para lo cual se debe considerar el rol fundamental que juega la ciudadanía para dar lugar a un consumo responsable que minimice la generación de residuos (Ministerio del Ambiente del Perú, 2021). Considerando esto, es clave orientar estrategias dirigidas a este público para garantizar el éxito en la implementación de nuevos procesos de gestión de residuos en la ciudad de Bogotá.

Como referencias internacionales, existen soluciones de manejo de residuos que consideran la tecnología y las comunicaciones para involucrar al ciudadano en el proceso de gestión de residuos en Brasil (Pardini, et. al, 2020), así como estudios que analizan las campañas ambientales orientadas hacia este público en España (Buil-Gazol & Roger-Loppacher, 2015) y su percepción frente a la separación y el compostaje en India (Kala & B. Bolia, 2020).

Desde el enfoque de economía circular, la ciudad está perdiendo un alto porcentaje de valorización de materias primas que después de un proceso de aprovechamiento son potencialmente aptas para ser incorporados como materias primas a nuevos procesos.

Conforme lo anterior, a través de este proceso investigativo se desea determinar ¿Qué alternativas eficaces de tratamiento y disposición final de residuos sólidos se pueden aplicar en la ciudad de Bogotá D.C.?

Objetivos

Objetivo general

Proponer alternativas eficaces de tratamiento y disposición final de residuos sólidos aplicables en la ciudad de Bogotá D.C.

Objetivos específicos

- Identificar los impactos ambientales causados desde la puesta en marcha de la operación del relleno sanitario Doña Juana en la ciudad de Bogotá D.C.
- Analizar casos internacionales de éxito referentes al tratamiento y disposición final de residuos sólidos en los últimos 10 años.
- Evaluar estrategias que propenden por la participación de la ciudadanía en la gestión de residuos sólidos.

Justificación

En Bogotá se viene presentando una problemática en la gestión de residuos sólidos, enmarcada en un contexto global donde la amenaza latente del cambio climático hace imperativa la búsqueda de soluciones, antes que se presenten consecuencias ambientales más graves e incluso catastróficas para la ciudad.

Como una alternativa al relleno sanitario Doña Juana como único punto de disposición de residuos de la ciudad, la investigación pretende presentar una alternativa eficaz a la gestión de residuos, que cuente con una valoración técnica de las tecnologías que permitan atender la problemática a partir de la revisión de casos y experiencias internacionales exitosas que hayan sido documentadas en la literatura académica, buscando añadir valor a través de una perspectiva y panorama de la gravedad de la situación en el relleno sanitario de la ciudad, con una propuesta clara que mitigue el impacto negativo integrando la participación activa de la ciudadanía.

Marco Teórico

A través del crecimiento exponencial de la población mundial, cada vez es evidente la problemática recurrente referente a la disposición final de residuos sólidos originados dentro de los procesos productivos, actividades recreativas, domésticos, comerciales, industriales, de construcción, entre otros. Es así como, Tchobanoglous et al. señalan que:

“Con el adiós a la sociedad del despilfarro, la gestión integral de residuos sólidos se convierte en una parte integrante de la economía de los países, la problemática de los residuos ocupa un lugar prioritario y los sectores públicos y privados demandan actividades tendentes a minimizar los perjuicios medioambientales de los procesos productivos e industriales. Dentro del amplio espectro de temas que guardan relación con una problemática de tanta actualidad como es la protección del medioambiente, la problemática de los residuos ocupa un lugar principal en la gestión ambiental” (1998, p.3).

Ahora bien, tal como Tchobanoglous et al. (1998) define los residuos sólidos como “todos los residuos que provienen de actividades animales y humanas, que normalmente son sólidos y que son desechados como inútiles o superfluos” (p.3). De la misma forma, Masud et al. (2023) describen esta problemática como el creciente riesgo ambiental y el impacto adverso de la eliminación inadecuada de desechos llevaron a los países de todo el mundo a reconocerlo como una amenaza para el medio ambiente y para la salud pública (pp. 21–59).

La generación global de residuos ha estado creciendo desde principios del siglo XIX, a pesar del hecho de que la investigación eficaz de gestión de residuos está en su infancia y carece de coordinación global, las naciones en desarrollo y subdesarrolladas, al darse cuenta de la inminente crisis de la generación de desechos fuera de control, han implementado políticas nacionales de gestión de residuos sólidos, discutiendo enfoques potencialmente efectivos para los países en desarrollo y subdesarrollados, con un enfoque en los componentes clave de los modelos de gestión de residuos arquetípicos que podrían resultar en la reducción, reutilización y reciclaje de desechos.

Por otro lado, Jaiswal y Kumar (2019) sugieren que la gestión sostenible de los residuos sólidos se ha convertido en una preocupación importante en el contexto actual del medio ambiente. Ya sea un país en desarrollo, desarrollado o subdesarrollado, la tasa actual de

producción de residuos es un problema grave. Con la generación de residuos sólidos en grandes cantidades cada año y la mayor parte de ellos todavía terminan en vertederos, se convierte en una necesidad absoluta definir un límite para que se pueda garantizar la estabilidad ambiental. Las naciones de todo el mundo están abordando esta amenaza emergente de residuos en diferentes magnitudes, independientemente de su estatura, y es imperativo conocer estas legislaciones operativas específicas de cada país antes de evaluar su impacto y dar una respuesta mundial.

Conforme lo anterior, el contexto nacional no se aparta de estos hechos, de acuerdo con el estudio presentado por el Departamento Nacional de Planeación (DNP), el cual destaca algunas cifras relevantes:

“En Colombia se recolecta y dispone en rellenos sanitarios 26.975 toneladas diarias de residuos sólidos domiciliarios. Bogotá es la ciudad donde más se produce residuos, cerca de 6.300 toneladas/día, seguido del departamento de Antioquia (3.260 ton/día), Valle del Cauca (3.072 ton/día) y Atlántico (1.907 ton/día).

934 municipios disponían los residuos en sitios adecuados (rellenos sanitarios, plantas integrales y celdas de contingencia; 111 municipios disponen en botaderos a cielo abierto, principalmente en Bolívar (29), Chocó (25) y Magdalena (18); 46 municipios disponen en celdas transitorias, la cual ya no es una solución aceptada por la normatividad vigente; 5 municipios arrojan sus residuos a cuerpos de agua, 4 hacen enterramiento y 1 municipio quema sus basuras; 1.102 municipios disponen en 360 sitios; 803 municipios entregan en 62 sitios de disposición final regionales, los cuales representan el 91% de los residuos en todo el país; se recicla y aprovecha cerca del 17% de los residuos que se generan”. (Departamento Nacional de Planeación, 2015)

Por lo anterior, a nivel Colombia la ciudad de Bogotá presenta una gran problemática referente a la gestión integral de residuos sólidos, dado que debe dar abasto para realizar el tratamiento y disposición final de las 6.300 toneladas de residuos que son producidas a diario.

En Colombia, según el Decreto 1784 de 2017, “un relleno sanitario es una solución técnica de saneamiento básico, resultado de procesos de planeación, diseño, operación y control para la disposición final adecuada de residuos sólidos”.

De otra parte, Vera-Romero et al. mencionan que:

“Los rellenos sanitarios son una alternativa de solución para confinar los residuos sólidos urbanos en un lugar seguro donde se evite la liberación de gases altamente contaminantes como el metano (CH₄), el cual es un gas de efecto invernadero (GEI) que se encuentra en la emanación de gases de los tiraderos de basura o rellenos sanitarios y se conoce como biogás (2015, p. 471– 478.)”

Igualmente Arévalo-Ayala et al. (2023), mencionan que un manejo selectivo de los residuos que se llevan a disposición final permitirá tener mayor control sobre los lixiviados que se generan, la generación de olores ofensivos y vectores, tal es el caso de la presencia de aves carroñeras dentro de los rellenos sanitarios, este estudio determino que si la población objeto de estudio desarrolla separación en la fuente, haciendo énfasis en el aprovechamiento de residuos orgánicos, ocasionara una reducción significativa de presencia de aves carroñeras en las celdas de disposición final en los rellenos sanitarios.

A medida que avanzaron las décadas en el país cambiaron las políticas sanitarias, bajo regulación del Ministerio de Salud y acogiendo recomendaciones de la Organización Panamericana de la Salud, específicamente, “la incorporación de la tecnología de rellenos sanitarios para disponer las basuras urbanas. Tanto el Ministerio de Medio Ambiente, creado en 1993, como las autoridades territoriales asumieron este sistema tecnológico y lo convirtieron en parte central del esquema de gestión de basuras” (Monlano Camargo, 2019, p.127).

La operación del relleno sanitario Doña Juana inició en la ciudad de Bogotá en el año de 1988 como punto donde se albergan los residuos sólidos en la ciudad. De acuerdo con Moreno Murillo (2001) en este punto de la ciudad en el mes de septiembre del año de 1997 se presentó un deslizamiento de cerca 800.000 metros cúbicos de basuras en una de las zonas del en el relleno sanitario, hasta generar un taponamiento en el cauce del río Tunjuelito. Una emergencia sanitaria similar es registrada por Rodríguez Rico (2002) ocurrida por el desplazamiento de basuras hacia la quebrada Puente Blanco. Estas situaciones fueron causadas por la acumulación de materia dentro del relleno, lo cual da lugar a un incremento en la presión interna que impide que se evacúen correctamente y terminen contaminando estos cuerpos de agua.

Otra situación similar habría de presentarse en el RSDJ que da cuenta del impacto ambiental que ocurre producto de su operación:

“En el 2015 se presenta una segunda explosión al interior del RSDJ. Cerca de 750.000 toneladas de residuos, casi la misma cantidad del derrumbe de 1997, explotaron por la acumulación de gases al interior de los desechos apilados. El gas metano expedido por la descomposición de las basuras provocó el desprendimiento de un talud del relleno en el que se venía compactando basura. El resultado fueron varias toneladas de basura expuestas al aire libre, situación que generó no solo mal olor sobre las zonas conexas a la zona de la explosión como Mochuelo, sino la proliferación de vectores como moscas, roedores y zancudos”. (El Tiempo, 2015, citado en Arévalo Ávila A.J., 2020, p. 31).

Por consiguiente, en la operación de un relleno sanitario lo fundamental es verificar y hacer la separación en la fuente de manera adecuada permitiendo el aprovechamiento de los residuos con potencial características para ser reincorporados al ciclo productivo como papel, cartón, material orgánico, plástico, vidrio, entre otros. A continuación, se mencionan técnicas que son implementadas en sistemas de tratamiento de residuos sólidos, las cuales generan oportunidades de economía escala:

Para Wójtowicz-Wróbel et al., (2023) las plantas de tratamiento térmico de residuos son una respuesta al importante problema de la neutralización de residuos, por un lado, al tiempo que inspiran diversas emociones en la sociedad debido a su impacto en sus sitios planificados o existentes, por el otro el principal beneficio de la incineración de residuos es la capacidad de reutilizarlos como combustible para producir energía.

Para Farahbakhsh et al. (2023) el efecto de los factores ecosistémicos en la adopción de tecnología de economía circular emergente se puede caracterizar cuando el crecimiento del mercado y la eficiencia tecnológica son bajos, los subsidios y los marcos de apoyo para las tecnologías emergentes pueden ser un instrumento muy eficaz para influir positivamente en el retorno de la inversión e influir en las decisiones para adoptar nuevas tecnologías.

De acuerdo con Deng et al. (2022), las tecnologías para tratar el desperdicio de alimentos evitan los problemas ambientales asociados con otros métodos de tratamiento y utilizan eficazmente los residuos de alimentos para producir productos valiosos para la sociedad, esto

como consecuencia del acelerado desarrollo de la economía mundial y el crecimiento de la población teniendo como resultado la generación de grandes cantidades de desperdicio de alimento, que de no tener un adecuado tratamiento serán llevadas a disposición final al relleno sanitario, lo que implica incremento en la generación de lixiviados y gases de efecto invernadero.

Para abordar la crisis ambiental, la tecnología se convierte en un factor determinante para lograr la eficacia de la gestión de residuos sólidos en la ciudad, y existen casos documentados en América Latina (Pardini, et. al, 2020), donde en una capa intermedia de un sistema arquitectónico estructurado del sistema de gestión de residuos sólidos se incluye el uso de Internet de las Cosas (IoT) para reunir la unidad de toma de decisiones, las bases de datos, la logística y la ubicuidad en las herramientas.

Marco Institucional

En Colombia, Cuadros de Vélchez y Ochoa Miranda (2017) muestran el sector privado como espacio productivo desde donde las empresas pueden aportar a la gestión integral de residuos sólidos. En el sector público, los organismos que tienen incidencia en el tema son el Congreso de la República, la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; y al interior de cada una de estas direcciones una serie de comisiones y grupos de otro orden para la ejecución de los programas.

En Bogotá específicamente, las autoras señalan como instituciones con incidencia local en el tema a considerar por tratarse del Relleno Sanitario Doña Juana, al Concejo Distrital, la Alcaldía Mayor y sus entidades a cargo del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos de la ciudad, siendo estas la Secretaría Distrital de Hábitat y la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos, involucrando a otras fuentes de Desarrollo Económico, Ambiente, Planeación y Movilidad.

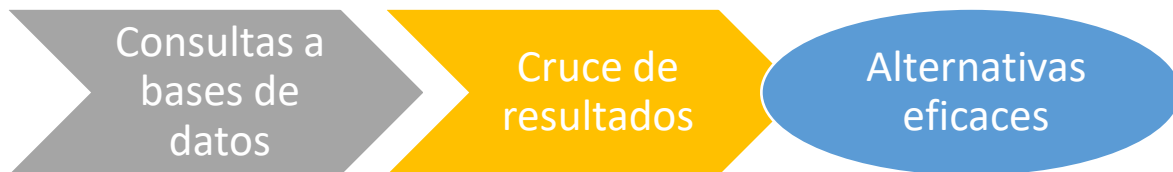
Como representante directo de la ciudadanía en el seguimiento e implementación de la normatividad, adquieren rol protagónico entidades como la Personería de Bogotá, la Defensoría del Ciudadano, la Veeduría Distrital, el Observatorio Ambiental de Bogotá, con el apoyo en el ejercicio de la autoridad de la Policía Metropolitana.

El sector privado en el modelo distrital entra en sinergia con el sector público, como lo ilustran las autoras, del cual son parte los consumidores, pasando por los generadores y finalizando con los suscriptores o usuarios del Servicio Público de Aseo. Juegan un papel igualmente importante aquellos prestadores del Servicio Público de Aseo, que incluye recicladores de oficio y organizaciones de formalización, así como la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y otras entidades adscritas.

Las estadísticas de la Secretaría Distrital de Ambiente (López, Urrutia y Moreno Panesso, 2022) reflejan que en los últimos 5 años la ciudad ha mantenido estable el indicador de aprovechamiento de residuos en la ciudad, siempre por encima de los 10 millones de toneladas, aunque se percibe una reducción en el año 2022, crítico para el Relleno Sanitario Doña Juana, ya que tal y como lo enfatiza el Observatorio Ambiental de Bogotá (2022), este espacio en Bogotá se encuentra en su último año de vida útil en 2023.

Metodología de investigación

Enfoque, alcance y diseño de la investigación



Dimensiones de la investigación 1

Selección de métodos e instrumentos para recolección de información

Con objeto de proponer alternativas eficaces de tratamiento y disposición final de residuos sólidos que deben ser aplicadas en la ciudad de Bogotá D.C., se desea llevar a cabo una metodología compuesta entre el análisis cualitativo y cuantitativo para realizar la recolección de información secundaria que permita su análisis de las tendencias que se han presentado a través de los últimos diez años en relación con la gestión integral de residuos sólidos.

La metodología cualitativa se enfoca en la recolección y análisis de datos no numéricos, con el objetivo de explorar y entender fenómenos complejos y sociales desde la perspectiva de los participantes.

Según Denzin y Lincoln (2011), la metodología cualitativa se caracteriza por ser un enfoque interpretativo y constructivista, que busca comprender el mundo social desde la perspectiva de los participantes. Este enfoque se basa en la premisa de que la realidad es subjetiva y construida socialmente, y que la investigación cualitativa es una forma de interpretación y construcción de significados.

Denzin y Lincoln (2011) también señalan que la metodología cualitativa utiliza una amplia gama de técnicas de recolección de datos, que incluyen entrevistas, observación participante, grupos de discusión, análisis de documentos y artefactos, entre otras. Además, la metodología cualitativa se enfoca en la exploración y el descubrimiento de patrones y significados emergentes, en lugar de probar hipótesis preconcebidas.

De acuerdo con Creswell (2016), la metodología cualitativa se caracteriza por ser inductiva, flexible y abierta a interpretaciones subjetivas, ya que busca obtener una comprensión más profunda y detallada de los significados y experiencias de los participantes.

Además, la metodología cualitativa se enfoca en el estudio de los procesos, las relaciones y las interacciones sociales, y utiliza técnicas como la observación participante, la entrevista en profundidad y el análisis de documentos para obtener y analizar los datos (Creswell, 2016).

- **Análisis documental:** Este método se centra en el análisis de documentos y materiales escritos, como cartas, diarios, publicaciones, entre otros, con el objetivo de obtener información sobre las actitudes, opiniones y comportamientos de los individuos y grupos.
- **Estudios de caso:** Se trata de un método que se enfoca en un solo caso o situación para analizar y entender cómo las diferentes variables influyen en los resultados y las consecuencias.

Respecto a la metodología cuantitativa, esta se enfoca en la recolección y análisis de datos numéricos, con el objetivo de medir y cuantificar datos. Según Bryman (2016), la metodología cuantitativa se caracteriza por ser deductiva, sistemática y objetiva, ya que busca obtener resultados precisos y generalizables mediante la aplicación de técnicas estadísticas y matemáticas.

Además, la metodología cuantitativa se enfoca en la identificación de patrones y relaciones estadísticas entre variables, y utiliza técnicas como encuestas, cuestionarios, experimentos y análisis de datos secundarios para recolectar y analizar los datos (Bryman, 2016).

Para el desarrollo de esta metodología cuantitativa se tiene contemplado hacer uso de los siguientes instrumentos para recolección de información:

- **Análisis de datos secundarios:** Este método se basa en la utilización de datos ya existentes, como estadísticas gubernamentales o datos de investigación previa, para analizar y obtener información sobre el fenómeno de interés.

- Observación estructurada: Se trata de una técnica en la que el investigador recopila datos mediante la observación sistemática y estructurada de un fenómeno, utilizando una lista predefinida de categorías o variables.
- Análisis estadístico: Es un método en el que se utilizan técnicas estadísticas para analizar y resumir los datos recolectados, con el objetivo de establecer patrones y relaciones entre las variables.

El desarrollado de esta metodología tendrá el siguiente enfoque en los siguientes componentes:

- I. Diagnóstico situacional de la gestión integral de residuos sólidos en la ciudad de Bogotá D.C.: En esta fase se desarrollará la recopilación de información primaria y secundaria del contexto del sector, de acuerdo con el macro y microentorno, se realizará la identificación, consulta y análisis de la información del territorio, se realizará el análisis, procesamiento y consolidación de la información para el tratamiento de datos e información teniendo presente los residuos con alto potencial de aprovechamiento que son llevados a disposición final en la ciudad.
- II. Estudio de mercado: En esta etapa se desarrollará el estudio de mercado que permita identificar el perfil del cliente potencial, el análisis de la oferta, análisis de la demanda, conocimiento del producto, calcular el posible nivel de aceptación, su precio, un análisis de la competencia, el diseño de las posibles estrategias de comercialización.
- III. Estudio técnico: A través de esta etapa se explorará el proceso de producción básico, donde se identifica el producto, sus fases productivas, insumos, labores, materiales, requerimientos de infraestructura productiva, requerimientos en personal para esta etapa y sus principales costos.
- IV. Estudio ambiental: En esta etapa se tendrán en cuenta los diagnósticos ambientales, análisis de impactos y la evaluación ambiental de la implementación productiva en la ciudad de Bogotá D.C.

Técnicas de análisis de datos

La elección de la técnica de análisis de datos para el estudio de alternativas eficaces de tratamiento y disposición final de residuos sólidos en la ciudad de Bogotá D.C. que se pretende hacer en esta investigación es de tipo cuantitativo y cualitativo para obtener una comprensión más completa del fenómeno estudiado.

En cuanto a las técnicas de análisis cuantitativo, se utilizará análisis estadísticos para evaluar los datos numéricos recolectados a través de bases de datos y mediciones; como lo es análisis de correlación entre las variables para examinar la relación entre la cantidad de residuos sólidos y la efectividad de la alternativa de tratamiento.

En cuanto a las técnicas de análisis cualitativo, se utilizará un análisis temático o un análisis de contenido para examinar los datos cualitativos, como las transcripciones de entrevistas con los expertos en tratamiento de residuos sólidos, identificando temas y patrones recurrentes en las opiniones y percepciones de los expertos sobre la alternativa de tratamiento.

Es importante, que para este estudio se destaca la importancia de desarrollar un análisis comparativo entre la disposición final tradicional y las alternativas de tratamientos para evaluar su efectividad y beneficios, incluyendo los datos cuantitativos y cualitativos definidos anteriormente.

Informe técnico de resultados

Análisis y discusión de resultados.

En Bogotá D.C. se cuenta con algunas de las alternativas de tratamiento y disposición final de residuos sólidos que pueden ser aplicados en la ciudad según el tipo de residuos que se encuentran disponibles en mayor porcentaje para ser transformados en la ciudad. Estas alternativas son conocidas y aplicadas en mercados internacionales y se encuentran casos exitosos que pueden dar muestra de la potencial eficacia de estas alternativas en la ciudad.

A entender, estas alternativas son: Compostaje, Reciclaje, Generación energética y Separación en la fuente.

En primer lugar, se encuentra el compostaje, entendido como “la conversión controlada de productos y residuos orgánicos degradables en productos estables con ayuda de microorganismos” (Ayilara et al., 2020). Si bien aún debe realizarse más investigación respecto a cómo mejorar la duración del compostaje, el uso de esta tecnología puede traer un beneficio para la industria agrícola al reducir el uso de químicos tóxicos que son reemplazados por fertilizantes orgánicos que mejoran la estructura del suelo y la disponibilidad de nutrientes.

En suma a esto, otros estudios señalan que más del 50% del flujo de residuos sólidos urbanos de una ciudad media de un país en vía de desarrollo puede ser compostado con facilidad (Hoornweg et al., 1999). Para integrar el compostaje como una estrategia sólida de tratamiento de residuos sólidos, es importante la participación y cooperación de múltiples grupos de interesados entre ellos los gobiernos nacionales, los municipios, las comunidades locales, los generadores de residuos y el sector privado.

Por ejemplo, un estudio experimental en Costa Rica (Campos-Rodríguez et al., 2016) presentó la evaluación técnica de dos métodos de compostaje para el tratamiento de los residuos orgánicos domiciliarios y la forma como estos pueden ser utilizados en huertas caseras, con resultados satisfactorios en el proceso de elaboración del compostaje. El estudio demostró que la producción de compost a través de estos procesos puede ser útil en la agricultura a pequeña escala.

Otra de las alternativas de gestión de residuos sólidos es el reciclaje, en especial para otro de los materiales de mayor disponibilidad para ser tratados en la ciudad de Bogotá como lo

es el plástico. Como definición, “el reciclaje consiste en someter un material o producto ya utilizado a un nuevo ciclo de tratamiento total o parcial, para obtener una materia prima o un nuevo producto” (Gabriel et al., 2010, p. 32).

Existen múltiples tecnologías aplicables para el reciclaje de los plásticos, entre las que se encuentran el reciclaje mecánico, el reciclaje químico, la despolimerización y la recuperación de energía (Shanker et al., 2022), a considerar según las diferentes clasificaciones del plástico. En el caso de la India, uno de los países con peor manejo del material, el reciclaje se ha convertido en una de las principales prácticas para mitigar los impactos negativos del consumo en el medio ambiente.

Otro ejemplo del reciclaje plástico, en particular del tipo PET, se encuentra en México a través de la planta PetStar, la cual implementa un modelo de negocio el cual consiste en “desvincular la botella reciclada de los recursos vírgenes, evitando la conversión del envase en residuo, y operar un ciclo perpetuo en el uso del envase” (Cámara-Creixell & Scheel-Mayenberger, 2019).

La generación de energía a partir de los residuos sólidos es otra de las alternativas para su tratamiento, a partir de las cuales se puede aprovechar la basura para la producción de electricidad. Uno de los casos de éxito se encuentra precisamente en México con la creación de la empresa BENLESA. En este caso, “se inició la construcción de una planta de generación de energía eléctrica que utilizaría el biogás que se produce naturalmente por la descomposición de la basura orgánica en el relleno sanitario de la zona metropolitana de Monterrey” (Ortiz Nadal et al., n.d.).

Esta planta tiene una capacidad instalada de 17 MW, lo que en proporción podría encender 170 mil bombillos de 100 W o proveer energía a 33 mil casas de interés social en México. Entre los beneficios de la implementación de esta planta se encuentran la utilización de los gases que se producen en el relleno sanitario evitando su emisión al medio ambiente, la disminución de GEI (gases de efecto invernadero), la producción de energía a menor costo y la satisfacción de las necesidades de energía eléctrica en la zona de impacto.

Finalmente, otra de las alternativas para el tratamiento de residuos sólidos es la separación en la fuente, que sucede ser una de las principales formas en que la ciudadanía, a la par de las organizaciones, pueden participar en la gestión integral. Como definición, “la separación en la fuente la actividad de seleccionar y almacenar los diferentes residuos sólidos en su lugar

de origen, para facilitar su posterior manejo y aprovechamiento” (Rodríguez Grande, 2020, p.7)

En Colombia desde la Resolución 2184 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019) se impulsa un código de colores para la separación de residuos sólidos en la fuente que tiene el color verde para la deposición de residuos orgánicos aprovechables, el color blanco para la deposición de residuos aprovechables como plástico, vidrio, metales, papel y cartón y el color negro para depositar los residuos no aprovechables, en aplicación a partir de enero de 2021.

Para incentivar el aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos de acuerdo con este código de colores existen la Resolución 546 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2022) que reglamenta los proyectos que pretenden acceder a incentivos, sin embargo este incentivo no existe para la ciudadanía en la tarifa de servicios públicos.

Para el año 2020 de acuerdo con la información reportada en el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) realizado por la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP), se reportó el comportamiento de la generación de residuos sólidos en Bogotá D.C. referente al año 2019 y proyecciones para los años 2020 al 2022, relacionado con la cantidad de toneladas producidas por mes en la ciudad. Estos residuos reportados corresponden a todos aquellos que son llevados a disposición final al relleno sanitario Doña Juana y que no tiene medida de aprovechamiento (ver tabla 1).

Tabla 1. Disposición final de residuos sólidos por actividad.

Año	Barrido Calles	Corte de césped	Grandes Generadores	Poda de Arboles	Recolección Domiciliaria	Total de Residuos
2013	93.323	15.425	117.553	3.771	1.603.183	1.833.255
2014	102.688	29.663	143.465	7.734	1.799.786	2.083.336
2015	104.413	22.740	128.387	6.050	1.779.577	2.041.166
2016	95.626	34.313	118.614	6.458	1.773.969	2.028.981
2017	103.698	41.724	117.745	6.591	1.792.153	2.061.911
2018	81.410	37.987	82.349	3.354	1.871.875	2.076.974
2019	96.372	33.449	92.181	8.535	1.860.536	2.091.074
2020	92.586	31.459	89.391	7.156	1.865.073	2.085.665
2021	90.162	31.051	96.940	7.237	1.875.299	2.100.689
2022	89.025	29.090	100.292	7.486	1.894.779	2.120.673

Fuente: Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), UAESP 2020.

Ahora bien, conforme a la tabla 1, la UAESP unificó los valores referentes de la disposición final de residuos sólidos para el periodo de 2019, referenciados en otros (Ton/año), materiales potencialmente reciclables y aprovechables (Ton/año), total de residuos generados (Ton/año), kilogramo de residuos generados por día y la producción per cápita que hace referencia a los kilogramos de residuos generados por habitante en un día (ver tabla 2).

Tabla 2. Total de residuos generados (Toneladas/año).

Residuos no aprovechables (Ton/año)	Materiales potencialmente reciclables y aprovechables (Ton/año)	Total de residuos generados (Ton/año)	Kilogramo día de residuos	Población (2019)	Producción per cápita (Kg/(habitante-día))
2.091.074	1.034.290	3.125.364	8.562.641	7.592.871	1,13

Fuente: Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), UAESP 2020.

De acuerdo con la tabla 2, es crucial evidenciar que del 100 % de los residuos generados en la ciudad de Bogotá D.C. para el periodo de un año, aquellos que son materiales potencialmente reciclables y aprovechables representan el 33% y el 67% corresponde a los residuos no aprovechables, sin embargo, estos son transportados y llevados a disposición final en el relleno sanitario Doña Juana.

Este resultado representa que no todos los residuos que son generados a diario en la ciudad de Bogotá D.C. deben finalizar en el relleno sanitario, por tanto, de acuerdo con el informe presentado por la UAESP 2020, se puede extraer la caracterización de los residuos potencialmente reciclables y aprovechables, ver tabla 3.

Tabla 3. Caracterización sólidos de residuos

Material	Porcentaje de generación
Orgánicos	51,32%
Plásticos	16,88%
Celulosas	13,67%
Textiles	4,54%
Vidrios	3,67%
Otros	3,36%
Madera	1,60%
Finos	1,43%
Metales	1,13%
Complejos	0,96%

Material	Porcentaje de generación
Inertes	0,84%
Peligrosos domiciliarios	0,60%

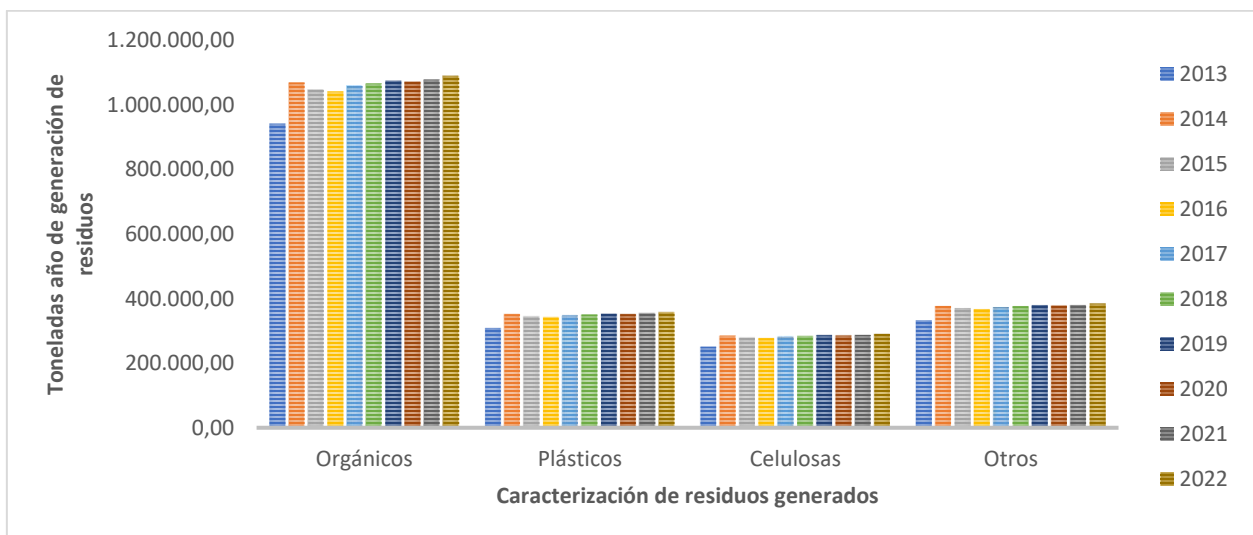
Fuente: Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), UAESP 2020.

En concordancia con la tabla 3, se infiere que los materiales potencialmente reciclables y aprovechables corresponden a aquellos que representan material orgánico en 51,32%, plástico en 16,88% y celulosa 13,67%. Con respecto a los demás materiales en los que su porcentaje refiere entre el 1 al 5% se observa que en la medida en que se aumente la separación en la fuente y se reduzca el 67% de residuos no aprovechables que terminan en el relleno sanitario, estos materiales pueden fortalecer y potencialmente incrementar su porcentaje de manera tal que se genere un valor agregado al residuo permitiendo su incorporación al ciclo productivo encaminado dentro de la económica circular.

Por lo cual la gráfica 1 representa el comportamiento de generación de residuos con características de aprovechamiento en los últimos siete años, evidenciando que anualmente el residuo con mayor oportunidad de ser aprovechado y transformado es el material orgánico con 51.32%, seguido del plástico 16.88%, celulosa 13.67% y otros 18.13% respectivamente.

Gráfica 1. Comportamiento de la generación anual de residuos llevados a disposición final en relleno sanitario.

Fuente: Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), UAESP 2020.



Verificando el comportamiento de la caracterización física de los residuos generados en la ciudad de Bogotá D.C., se establece el valor de las toneladas mes de residuos que estarían disponibles para ser transformados a través de alternativas eficaces de tratamiento de residuos sólidos (ver tabla 4).

Tras la implementación en 2021 del código de colores para la separación de residuos sólidos en la fuente, es posible ver que no se nota un cambio representativo entre las toneladas de residuos sólidos generados ni sus diferentes categorías para el año 2022, inclusive considerando el aumento de la población.

Tabla 4. Disponibilidad de residuos para ser transformado a través de alternativas de tratamiento.

Mes	Material orgánico (Toneladas)	Plástico (Toneladas)	Celulosa (Toneladas)	Otros (Toneladas)	Total toneladas
ene	85.115	27.996	22.672	30.069	165.852
feb	81.469	26.796	21.701	28.781	158.747
mar	89.940	29.583	23.957	31.773	175.253
abr	90.271	29.692	24.045	31.890	175.899
may	93.787	30.848	24.982	33.133	182.750
jun	87.206	28.683	23.229	30.807	169.925
jul	92.090	30.290	24.530	32.533	179.442
ago	88.453	29.094	23.561	31.248	172.355
sep	84.430	27.770	22.489	29.827	164.517
oct	92.419	30.398	24.617	32.649	180.083
nov	92.089	30.290	24.530	32.533	179.441
dic	95.871	31.534	25.537	33.869	186.811
Total	1.073.140	352.973	285.850	379.112	2.091.075

Fuente: Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), UAESP 2020.

La tabla 4 presenta el comportamiento de generación a nivel mensual de cada uno de los residuos con alto porcentaje de aprovechamiento, estos valores son representativos y están indicando que no hay una gestión acertada de los residuos perdiendo la capacidad de transformar estos recursos para ser reincorporados en ciclos productivos, por lo cual a continuación se presentan en la tabla 5 las alternativas de transformación que presentan mayor beneficio en el tratamiento de residuos sólidos en la ciudad de Bogotá D.C.

Tabla 5. Alternativas de tratamiento de residuos sólidos

Alternativa Material	Compostaje	Reciclaje	Generación energética	Separación en la fuente
Orgánicos (51,32%)	X			
Plásticos (16,88%)		X	X	
Celulosas (13,67%)		X	X	
Otros (18,13 %)				X

Con el propósito de presentar un análisis detallado de las alternativas eficaces de tratamiento y disposición final de residuos sólidos aplicables en la ciudad de Bogotá D.C. a continuación se relacionan los datos obtenidos referentes al estudio de mercado, técnico y ambiental:

Tabla 6. Estudio de mercado

Estudio de mercado	Análisis de la oferta	Análisis de la demanda	Conocimiento del producto	Nivel de aceptación
Orgánicos	La ciudad de Bogotá D.C. esta produciendo anualmente 1.073.139 de toneladas, que no están teniendo aprovechamiento y terminan en relleno sanitario.	Programas de compostaje doméstico: La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) ha implementado programas de compostaje doméstico, mediante los cuales proporciona a los ciudadanos los conocimientos y recursos necesarios para realizar el compostaje en sus hogares. Estos programas incluyen capacitaciones, entrega de composteras y asesoría técnica. Compostaje comunitario: En diversos barrios y conjuntos residenciales de Bogotá, se han establecido proyectos de compostaje comunitario. Estos proyectos involucran a un grupo de vecinos que se organizan para realizar el compostaje de forma conjunta, utilizando espacios comunes o compartidos. Empresas de servicios de compostaje: Existen empresas especializadas en la recolección y tratamiento	En trabajo conjunto entre la Alcaldía Mayor de Bogotá, la UAESP y la comunidad de ciudad Bolívar, han permitido incentivar el aprovechamiento de residuos de material orgánico a nivel distrital creando la primera planta de compostaje de la ciudad, sin embargo, falta inversión en aras de que tenga la capacidad de tratamiento para 1 millón de toneladas generados anualmente en la ciudad.	Es positivo por parte de la comunidad dado que los reportes registrados por la UAESP y Dane, la comunidad que más se beneficia de estas actividades es la de ciudad Bolívar quien presenta mayor arraigo y voluntad para llevar a cabo este proyecto dado que es fuente generadora de empleo.

Estudio de mercado	Análisis de la oferta	Análisis de la demanda	Conocimiento del producto	Nivel de aceptación
		<p>de residuos orgánicos para su posterior compostaje. Estas empresas ofrecen servicios de recolección de residuos orgánicos, ya sea de hogares, restaurantes u otros establecimientos, y se encargan de transformarlos en compost de alta calidad.</p> <p>Huertos urbanos y proyectos agrícolas: Algunos huertos urbanos y proyectos agrícolas en Bogotá utilizan el compostaje como parte de sus prácticas de gestión de residuos y fertilización del suelo. Estos lugares pueden ofrecer la posibilidad de recibir residuos orgánicos para su compostaje y, a cambio, proporcionar compost a la comunidad.</p>		
Plásticos	<p>La ciudad de Bogotá D.C. está produciendo anualmente alrededor de 352.973.29 toneladas, que no están teniendo aprovechamiento y terminan en relleno sanitario.</p>	<p>En Colombia las principales empresas exportadoras de plástico son:</p> <p>Polipropileno del caribe S A (26.39 %)</p> <p>Mexichem Resinas Colombia S A S (16.08 %)</p> <p>Americas Styrenics de Col Ltda (6.36 %)</p> <p>Proquinal S A (3.75 %)</p> <p>Ajover S A S (3.71 %)</p> <p>Minipak S A S (2.58 %)</p> <p>C I Farmacapsulas S A (2.56 %)</p>	<p>Según un informe conjunto de Acoplásticos y la Universidad Piloto de Colombia, publicado en noviembre 25 de 2019, se ha encontrado que aproximadamente 200 empresas dedicadas al reciclaje de plástico posconsumo en Bogotá están transformando un promedio de 9,000 toneladas por mes. Esto se traduce en una cifra cercana a las 110,000 toneladas de residuos plásticos reciclados al año por estas empresas.</p>	<p>Según reporte de la UAESP, en los últimos cinco años el crecimiento de asociaciones de recicladores ha ido en alza, al 2023 ya se tienen 390.</p>
Celulosas	<p>La ciudad de Bogotá D.C. está produciendo anualmente 285.849 de toneladas, que no están teniendo aprovechamiento y terminan en relleno sanitario.</p>	<p>Según reporte Dane (2021), la gran mayoría de las empresas que transforman celulosa afirman que existe un déficit para abastecer la demanda hasta del 35% de residuos aprovechables. Los transformadores mencionan cantidades de material aprovechable importado entre el 10% y el 20% del material recuperado.</p>	<p>Según reporte Dane (2021), falta formalización y ampliación de capacidades empresariales y de infraestructura de las asociaciones de reciclaje para incrementar el material de celulosa recolectado, que corresponde al 58% del total recogido.</p>	<p>Según reporte Dane (2021), Los grandes intermediarios se han especializado en el manejo de residuos de celulosa. El material que más compran es el cartón (75%), seguido de archivo (20%) y plegadiza. Siendo materiales ampliamente cotizados genera mayor competencia y brechas relacionadas con la capacidad de cada tipo de intermediario para recibir material.</p>

Estudio de mercado	Análisis de la oferta	Análisis de la demanda	Conocimiento del producto	Nivel de aceptación
Otros	La ciudad de Bogotá D.C. está produciendo anualmente 379.111 de toneladas, que no están teniendo aprovechamiento y terminan en relleno sanitario.	Según reporte de la UAESP, en los últimos cinco años el crecimiento de asociaciones de recicladores ha ido en alza, al 2023 ya se tienen 390. Sin embargo, debido a que el distrito no cuenta con una política clara de separación en la fuente residuos como vidrio, aluminio, metales, madera entre otros están siendo llevados a disposición final perdiendo su valor comercial	La ciudad debe aumentar la separación en la fuente, el reciclaje y la adecuada disposición final de los residuos de la ciudad, contribuyendo de esta manera al cambio de los hábitos de vida para reverdecer la ciudad y adaptarnos a la crisis climática (Acuerdo 761, 2020). Sin embargo, se resalta que el distrito carece de registros que demuestren estas medidas de concientización a la ciudadanía por lo cual es necesario que se implemente la participación ciudadana en el proceso de separación en la fuente como medida crucial a la gestión de residuos en Bogotá D.C.	La ciudadanía no cuenta con recursos informativos ni de capacitación para desarrollar la separación en la fuente. Según reporte UAESP a la fecha el distrito no cuenta con rutas selectivas que permitan a la ciudadanía hacer disposición adecuada de los residuos. Esto implica que los residuos clasificados dentro de Otros finalicen en el relleno sanitario disminuyendo su vida útil.

Tabla 7. Estudio técnico.

Estudio técnico	Producción	Requerimientos de infraestructura productiva	Requerimientos en personal	Principales costos.
Orgánicos	1.073.139 Toneladas/año	<ol style="list-style-type: none"> 1. Terreno. 2. Área de recepción y almacenamiento. 3. Área de procesamiento y compostaje. 4. Equipamiento de manejo de materiales. 5. Equipo de volteo o mezclado. 6. Instalaciones de tamizado y separación. 7. Infraestructura de riego. 8. Estructuras de cobertura. 9. Área de curado o maduración. 10. Equipamiento de carga y descarga. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gerente de planta: 1 persona. 2. Supervisor de producción: 1 o 2 personas. 3. Operadores de maquinaria: 2 o 3 personas. 4. Técnico de laboratorio: 1 persona. 5. Personal de recepción y clasificación: 2 o 3 personas. 6. Personal de mantenimiento: 1 o 2 personas. 7. Personal de logística y transporte: 1 o 2 personas. 8. Personal de seguridad y medio ambiente: 1 o 2 personas. 	<p>Se presentan costos estimados para la operación de una planta de compostaje de 2.000 toneladas día</p> <p>Costo de infraestructura: \$1.500.000 US</p> <p>Costo de personal: \$20,000 US/mensual</p>
Plásticos	352.973 Toneladas/año	<ol style="list-style-type: none"> 1. Terreno. 2. Área de recepción y clasificación. 	Para operar una planta de reciclaje de plástico de la magnitud mencionada se requiere:	Se presentan costos estimados para la operación de una planta de transformación de

Estudio técnico	Producción	Requerimientos de infraestructura productiva	Requerimientos en personal	Principales costos.
		3. Equipamiento de clasificación y separación. 4. Equipamiento de trituración y molienda. 5. Equipamiento de lavado y secado. 6. Equipamiento de extrusión y granulación. 7. Área de almacenamiento de productos terminados. 8. Equipamiento de embalaje y carga. 9. Oficinas administrativas. 10. Instalaciones de servicios.	1. Gerente general: 1 persona. 2. Gerente de operaciones: 1 persona. 3. Supervisor de producción: 1 o 2 personas. 4. Operadores de maquinaria: 2 o más personas, dependiendo de la cantidad y complejidad de las máquinas y equipos utilizados. 5. Técnico de laboratorio: 1 o 2 personas, encargadas del control de calidad y análisis de muestras. 6. Personal de recepción y clasificación: 2 o más personas, para recibir, inspeccionar y clasificar los residuos plásticos entrantes. 7. Personal de mantenimiento: 1 o 2 personas, responsables del mantenimiento y reparación de las máquinas y equipos. 8. Personal de logística y transporte: 1 o más personas, para coordinar la recepción y entrega de los materiales plásticos y productos reciclados. 9. Personal de control de calidad: 1 o más personas, para realizar pruebas y asegurar la calidad del plástico reciclado. 10. Personal administrativo: 1 o más personas, para llevar a cabo tareas administrativas, contables y de documentación.	plástico de 900 toneladas día Costo de infraestructura: \$1.000.000 a \$1.500.000 US Costo de personal: \$12,000 a \$18.000 US/mensual
Celulosas	285.849 Toneladas/año	1. Terreno. 2. Área de recepción y clasificación. 3. Equipamiento de clasificación y separación. 4. Equipamiento de trituración y desfibrado. 5. Equipamiento de lavado y blanqueo. 6. Equipamiento de refinado y formación de láminas. 7. Área de almacenamiento de productos terminados. 8. Equipamiento de embalaje y carga. 9. Oficinas administrativas.	1. Gerente general: 1 persona. 2. Gerente de operaciones: 1 persona. 3. Supervisor de producción: 2 personas. 4. Operadores de maquinaria: 4-6 personas, dependiendo de la cantidad y complejidad de las máquinas y equipos utilizados. 5. Técnico de laboratorio: 1-2 personas, encargadas del control de calidad y análisis de muestras. 6. Personal de recepción y clasificación: 4-6 personas, para recibir, inspeccionar y clasificar los residuos de celulosa entrantes. 7. Personal de mantenimiento: 2-4 personas, responsables del mantenimiento y reparación de las máquinas y equipos. 8. Personal de logística y transporte: 2-4 personas, para coordinar la recepción y entrega	Se presentan costos estimados para la operación de una planta de aprovechamiento de celulosa de 600 toneladas día Costo de infraestructura: \$1.000.000 a \$1.500.000 US Costo de personal: \$12,000 a \$18.000 US/mensual

Estudio técnico	Producción	Requerimientos de infraestructura productiva	Requerimientos en personal	Principales costos.
		10. Instalaciones de servicios.	<p>de los materiales de celulosa y productos reciclados.</p> <p>9. Personal de control de calidad: 2-4 personas, para realizar pruebas y asegurar la calidad de la celulosa reciclada.</p> <p>10. Personal administrativo: 2-4 personas, para llevar a cabo tareas administrativas, contables y de documentación.</p>	
Otros	379.111 Toneladas/año	<p>Para una planta de termovalorización se requiere:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Edificio principal. 2. Zona de recepción y almacenamiento de residuos. 3. Equipos de pretratamiento de residuos. 4. Hornos de combustión. 5. Sistema de recuperación de energía. 6. Sistema de filtración y purificación de gases. 7. Sistema de gestión de cenizas. 8. Infraestructura de suministro de agua. 9. Áreas de almacenamiento de productos finales. 10. Oficinas administrativas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gerente de planta: Responsable de la gestión general de la planta, incluyendo la supervisión de las operaciones, el cumplimiento normativo y la toma de decisiones estratégicas, cantidad de personal: 1 2. Ingenieros de proceso: Responsables de supervisar y optimizar el proceso de termovalorización, asegurando la eficiencia y seguridad de las operaciones, cantidad de personal: 2-3 3. Operadores de planta: Encargados de la operación diaria de la planta, incluyendo el monitoreo de los equipos, la alimentación de residuos, el control de la temperatura y la presión, y la gestión de los residuos y subproductos generados, cantidad de personal: 4-6. 4. Técnicos de mantenimiento: Responsables del mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos y sistemas de la planta, asegurando su buen funcionamiento y minimizando los tiempos de inactividad, cantidad de personal: 2-4. 5. Especialista en control de emisiones: Encargado de supervisar y garantizar el cumplimiento de las regulaciones ambientales, realizando pruebas y análisis de los gases de combustión y operando los sistemas de control de emisiones, cantidad de personal: 1-2. 6. Personal de laboratorio: Responsable de realizar análisis y pruebas en los residuos, cenizas y subproductos generados, asegurando la calidad y cumplimiento de los 	<p>Se presentan costos estimados para la operación de una planta de termovalorización 1.000 toneladas día</p> <p>Costo de infraestructura: \$3.500.000 US</p> <p>Costo de personal: \$45,000 US/mensual</p>

Estudio técnico	Producción	Requerimientos de infraestructura productiva	Requerimientos en personal	Principales costos.
			<p>estándares, cantidad de personal: 1-2.</p> <p>7. Personal de logística y manejo de residuos: Encargado de coordinar la recepción de los residuos, su almacenamiento temporal y su transporte interno en la planta; cantidad de personal: 2-3.</p> <p>8. Personal administrativo y de apoyo: Incluye roles como personal de recursos humanos, finanzas, compras y atención al cliente, según las necesidades específicas de la planta, cantidad de personal: 6-10.</p>	

Tabla 8. Estudio ambiental.

Estudio ambiental	Normatividad	Diagnósticos ambientales	Análisis de impactos	Beneficios ambientales en su implantación
Orgánicos	Ley 9 de 1979 Ley 99 de 1993	<ul style="list-style-type: none"> Generación de gases de efecto invernadero (GEI). Calentamiento global y al cambio climático. 	Producción de metano (CH ₄), un gas de efecto invernadero con un potencial de calentamiento global aproximadamente 25 veces mayor que el dióxido de carbono (CO ₂).	<p>Uso de los residuos orgánicos como recursos para la producción y venta de compost.</p> <p>Ampliar la vida útil del relleno sanitario Doña Juana.</p> <p>Reducción de la generación de GEI.</p>
Plásticos	Ley 142 de 1994 Ley 1333 de 2009 Resolución 2086 de 2010 Resolución 1407 de 2018 Resolución 0631 de 2015	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación en los cuerpos de agua de la ciudad. Impacto adverso a la biodiversidad. Contaminación visual. Impacto en el ciclo natural de los nutrientes del suelo en los diferentes ecosistemas de la ciudad. Generación de gases de efecto invernadero (GEI). 	<p>La disposición inadecuada de plásticos en Bogotá tiene múltiples impactos negativos, incluyendo la contaminación de cuerpos de agua, la afectación de la biodiversidad, la contaminación visual, la interrupción del ciclo de los nutrientes y las emisiones de gases de efecto invernadero.</p> <p>Estos impactos ponen en riesgo la salud de los ecosistemas, la biodiversidad y el bienestar de la población. Es fundamental implementar medidas para reducir el consumo de plásticos, promover el reciclaje y mejorar la gestión de los residuos plásticos, a fin de mitigar</p>	<p>Reducción de la contaminación: Al aprovechar los plásticos y reciclarlos en lugar de desecharlos, se evita su acumulación en relleno sanitario y su disposición inadecuada, lo que reduce el impacto en los medios del suelo, el agua y el aire.</p> <p>Ahorro de recursos naturales: El reciclaje de plásticos permite utilizarlos como materia prima en la producción de nuevos productos, lo que reduce la necesidad de extraer y utilizar recursos naturales no renovables.</p> <p>Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero: La producción de plásticos a partir de materias primas vírgenes requiere una gran</p>

Estudio ambiental	Normatividad	Diagnósticos ambientales	Análisis de impactos	Beneficios ambientales en su implantación
			<p>estos impactos y promover un entorno más sostenible.</p>	<p>cantidad de energía y genera emisiones de gases de efecto invernadero. Al reciclar y reutilizar los plásticos, se reduce la necesidad de producir nuevos plásticos, lo que contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y al combate del cambio climático.</p> <p>Conservación de la biodiversidad: Al evitar la acumulación de plásticos en el medio ambiente, se protege la biodiversidad y se reduce el riesgo de impactos negativos en la flora y fauna, como la ingestión o enredos en plásticos por parte de la fauna.</p> <p>Estímulo a la economía circular: La implementación de una planta de aprovechamiento de plásticos fomenta la economía circular al cerrar el ciclo de vida de los plásticos y darles una segunda oportunidad como materia prima, evitando la necesidad de utilizar recursos nuevos y reduciendo los residuos generados.</p>
Celulosas		<p>Aunque el papel y cartón representan un alto índice de aprovechamiento (64%), el material aún tiene problemas de contaminación por la deficiente separación en la fuente los pequeños generadores que son atendidos por asociaciones de reciclaje, cuya labor de clasificación se dificulta por esta problemática.</p>	<p>Contaminación de cuerpos de agua por acumulación en ríos, lagos, humedales y otros.</p> <p>Deforestación y pérdida de biodiversidad.</p> <p>Generación de residuos sólidos, si estos residuos no son gestionados adecuadamente, pueden terminar en relleno sanitarios donde ocupan espacio y contribuyen a la acumulación de basura.</p> <p>Contaminación atmosférica por quema de residuos de celulosa, como el papel, puede generar emisiones contaminantes en forma de gases y partículas que contribuyen</p>	<p>Reducción de la deforestación.</p> <p>Aprovechamiento de residuos.</p> <p>Promoción del reciclaje.</p> <p>Beneficios económicos y empleo.</p> <p>Es importante destacar que estos beneficios están sujetos a la implementación adecuada de tecnologías limpias y prácticas sostenibles en la planta de aprovechamiento de celulosa, así como al cumplimiento de las regulaciones ambientales vigentes.</p>

Estudio ambiental	Normatividad	Diagnósticos ambientales	Análisis de impactos	Beneficios ambientales en su implantación
			a la contaminación del aire. Impacto en el cambio climático.	
Otros		El 100% de los residuos no aprovechables con característica de otros son llevados a disposición final, o terminan en puntos clandestinos de acopio sin ninguna aprovechamiento o transformación de esta materia generando focos de infección, olores ofensivos y de vectores.	La inadecuada disposición de residuos no aprovechables tiene un impacto significativo en el ambiente, causando contaminación del suelo, agua y aire, afectando la vida silvestre y contribuyendo al cambio climático. Para minimizar estos impactos, es fundamental promover y practicar una gestión adecuada de los residuos, que incluya la reducción en su generación, el reciclaje y la disposición final controlada y segura.	A través de una planta de termovalorización de residuos no aprovechables se tienen los siguientes beneficios ambientales: Reducción significativa de CH4 y CO2. Minimización en la generación de GEI. Aprovechamiento energético. Reducción en la tarifa de recolección de residuos a los usuarios. Venta de energía y subproductos a las industrias.

Conclusiones

- En el desarrollo del estudio de alternativas eficaces de tratamiento y disposición final de residuos sólidos en la ciudad de Bogotá D.C. se logró identificar cuatro factores cruciales que pueden ser determinantes como cambio paulatino a la gestión de residuos no aprovechables que se viene desarrollando hace 35 años en la ciudad de Bogotá D.C.; estas alternativas son implementación de mecanismos de separación en la fuente, actividad que debe ser reforzada la entidades avaladas por el distrito en aras de que permita clasificar desde los hogares el tipo de residuo previo a su recolección por parte de la empresa prestadora del servicio de aseo.
- Como segunda alternativa se identifico la implementación de una tres plantas de tratamiento y transformación de residuos como lo es la planta de compostaje, planta de transformación de plástico, y planta de transformación de celulosa, estos puntos son cruciales toda vez que la tarifa de recolección de residuos no tendrá incidencia dado que en la medida que se realice una optima separación en la fuente y entrega de estos residuos, estos a su vez serán transformados en materia prima que se involucrara dentro de la económica circular generando utilidades con las cuales se contemplaran los gastos operacionales de cada una.

- En cuanto a la tercera alternativa detectada, se evidencia que el porcentaje de otro tipo de residuos que no está teniendo alguna transformación es significativo, es indispensable realizar una planta de termovalorización que permita la generación de energía eléctrica, venta de subproductos a la industria y disminución de los GEI en la ciudad de Bogotá, permitiendo a la ciudadanía que colinda con el relleno sanitario Doña Juana una mejor calidad de vida y se beneficie de los servicios ofrecidos por esta planta como lo es el servicio de energía eléctrica y alumbrado público.
- Se identifica como parte de la investigación la cantidad de residuos no aprovechables, así como las cantidades de materiales potencialmente reciclables y aprovechables que permiten presentar alternativas eficaces al relleno sanitario Doña Juana para el tratamiento de residuos sólidos en la ciudad de Bogotá.
- Igualmente, se identifica que durante los 35 años de operación del relleno sanitario Doña Juana se han presentado numerosos eventos de alto impacto considerados como emergencias ambientales (El Tiempo, 2015, citado en Arévalo Ávila A.J., 2020, p. 31), (Rodríguez Rico, 2002) y (Moreno Murillo, 2001) causados por el desplazamiento de las basuras o la acumulación de materiales, resultando en malos olores, contaminación de los cuerpos de agua y proliferación de insectos.
- Con casos de compostaje en Costa Rica (Campos-Rodríguez et al., 2016) y otros países en vía de desarrollo (Hoorweg et al., 1999), de reciclaje de plástico (Cámara-Creixell & Scheel-Mayenberger, 2019) y generación de energía (Ortiz Nadal et al., n.d.) en México se identifican casos de éxito internacionales en los últimos 10 años para el tratamiento y disposición final de residuos sólidos que pueden ser tomados como referentes para ser aplicados en la ciudad de Bogotá.
- Es posible identificar que las estrategias que buscan la participación de la ciudadanía, tales como el código de colores en la clasificación de residuos sólidos en los hogares, no tiene un impacto representativo en la cantidad ni el tipo de residuos sólidos que terminan en Doña Juana, considerando el comportamiento anual de generación de residuos entre 2019 y 2022. Se sugiere la implementación de un incentivo en la tarifa de servicios públicos para incentivar la participación

de la ciudadanía en procesos de separación en la fuente según el código de colores establecido.

- La recolección domiciliaria es una de las principales fuentes de residuos sólidos que son dispuestos en la ciudad de Bogotá, por lo que es imperativo el mejoramiento de los hábitos de recolección en hogares y organizaciones, a través de la promoción de campañas efectivas de separación de residuos.
- No es posible clasificar las alternativas en cuestión, sino que se requiere de la implementación de una estrategia integrada de las cuatro para sustituir efectivamente el relleno sanitario Doña Juana.

Lista de Referencias

- Agnieszka Wójtowicz-Wróbel, O. K. (Noviembre 2022). Thermal-flow calculations for a thermal waste treatment plant and CFD modelling of the spread of gases in the context of urban structures. *Energy*.
- Arévalo-Ayala, D. J., Real, J., Durà, C., Aymerich, J., & Hernández-Matías, A. (2023). Reduction of organic waste in a landfill lowers the visitation probability but not the local abundance of a long-lived scavenger species. *Bird Conservation International*, 33. <https://doi.org/10.1017/S0959270922000107>
- Arévalo Ávila A.J. (2020). *Doña Juana: Imaginario Social de un Conflicto Ambiental por la Basura*, Universidad Distrital Francisco José De Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/23074/AngelicaJohanaArvaloAvila2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ayilara, M. S., Olanrewaju, O. S., Babalola, O. O., & Odeyemi, O. (2020). Waste management through composting: Challenges and potentials. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 11). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su12114456>
- Buil-Gazol, P., & Roger-Loppacher, O. (2015). Medio ambiente y relaciones públicas: planificación estratégica de. *Revista Mediterránea de Comunicación*, 45-58.
- Bryman, A. (2016). *Social research methods*. Oxford university press.
- Cámara de Comercio de Bogotá. (14 de Febrero de 2023). *Cámara de Comercio de Bogotá*. Obtenido de Cámara de Comercio de Bogotá Web site: <https://www.ccb.org.co/observatorio/Analisis-Economico/Analisis-Economico/Crecimiento-economico/Informe-de-encuestas-economicas-diciembre-2022#:~:text=En%20Bogot%C3%A1%2C%20el%20comercio%20decreci%C3%B3n,el%20mismo%20mes%20de%202021>.
- Cámara-Creixell, J., & Scheel-Mayenberger, C. (2019). PetStar PET Bottle-to-Bottle Recycling System, a Zero-Waste Circular Economy Business Model. In M.-L. Franco-García, J. C. Carpio-Aguilar, & H. Bressers (Eds.), *Towards Zero Waste: Circular Economy Boost, Waste to Resources* (pp. 191–213). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92931-6_10

- Cambridge University Press. (2022). Reduction of organic waste in a landfill lowers the visitation probability but not the local abundance of a long-lived scavenger species. *Bird Conservation International* , 17-23.
- Campos-Rodríguez, R., Brenes-Peralta, L., Jiménez-Morales, M. F., Campos-Rodríguez, R., Brenes-Peralta, L., & Jiménez-Morales, M. F. (2016). Evaluación técnica de dos métodos de compostaje para el tratamiento de residuos sólidos biodegradables domiciliarios y su uso en huertas caseras. *Revista Tecnología En Marcha*, 29(8), 25. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i8.2982>
- Concejo de Bogotá. (Junio 11 de 2020). *Acuerdo No. 761 de 2020* “Por medio del cual se adopta el plan de desarrollo económico, social, ambiental y de obras públicas del distrito capital 2020-2024 “un nuevo contrato social y ambiental para la bogotá del siglo xxi” Web Site: <https://bogota.gov.co/sites/default/files/acuerdo-761-de-2020-pdd.pdf>
- Cuadros de Vilchez, D. M. (II.). (2017). Mecanismos de accountability en la gestión de residuos sólidos, en Colombia y Brasil.. Fundación Universitaria Los Libertadores. <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaean/196998?page=1>
- Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2016). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches*. Sage publications.
- DANE. (2021). Cuenta ambiental y económica de flujos de materiales – residuos sólidos (CAEFM-RS), *Boletín Técnico 2018-2019*, pp.1-13.
- DANE. (2021). CENSO ECONÓMICO DE COLOMBIA, Conteo de Unidades Económicas 2021. *Publicación anual DANE*, 16-25.
- DANE. (24 de febrero de 2023). *DANE*. Obtenido de DANE Web Site: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion/proyecciones-de-poblacion-bogota>.
- Decreto 1784 (2017, 2 de noviembre). Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1077 de 2015 en lo relativo con las actividades complementarias de tratamiento. y disposición final de residuos, sólidos en el servicio público de aseo”. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=84140>

- Deng, Y., Chen, X., Adam, N. G. T. S., & Xu, J. (2022). A multi-objective optimization approach for clean treatment of food waste from an economic-environmental-social perspective: A case study from China. *Journal of Cleaner Production*, 357, 131559. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131559>
- Denzin, N. K., & Lincoln, Y. S. (Eds.). (2011). *The Sage handbook of qualitative research*. sage.
- Departamento Nacional de Planeación. (2015, 21 de diciembre). *Rellenos sanitarios de 321 municipios colapsarán en cinco años, advierte el DNP*. <https://www.dnp.gov.co/Paginas/Rellenos-sanitarios-de-321-municipios-colapsar%C3%A1n-en-cinco-a%C3%B1os,-advier-te-el-DNP-.aspx>
- El Tiempo. (2015, 02 de octubre). *Derrumbe en el relleno de Doña Juana prende las alarmas*. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16393187>
- Farahbakhsh, S., Snellinx, S., Mertens, A., Belderbos, E., Bourgeois, L., & Meensel, J. Van. (2023). What's stopping the waste-treatment industry from adopting emerging circular technologies? An agent-based model revealing drivers and barriers. (190) 106792, *Resources, Conservation and Recycling*, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106792>
- Función Pública. (4 de Agosto de 2019). *Función Pública*. Obtenido de Función Pública Web Site: <https://www.funcionpublica.gov.co/web/carta-administrativa/-/dane-revela-informe-completo-del-censo-de-poblacion#:~:text=Bogot%C3%A1%20D.C.%20apareci%C3%B3%20en%20el,e1%20periodo%20intercensal%202005%2D2018>.
- Gabriel, J., Quintana, H., Diego, J., & Mejía, R. (2010). *Estudio de factibilidad para reciclar envases plásticos de polietileno tereftalato (PET), en la ciudad de Guayaquil*.
- Hoorweg, D., Thomas, L., & Otten, L. (1999). *THE WORLD BANK s URBAN AND LOCAL GOVERNMENT COMPOSTING AND ITS APPLICABILITY IN DEVELOPING COUNTRIES Composting and Its Applicability in Developing Countries COMPOSTING AND ITS APPLICABILITY IN DEVELOPING COUNTRIES THE WORLD BANK s URBAN AND LOCAL GOVERNMENT COMPOSTING AND ITS APPLICABILITY IN DEVELOPING COUNTRIES*.

- Jaiswal, A., & Kumar, S. (2019). Chapter 2 - Waste Legislation Across the Globe: An Overview. In S. Kumar, R. Kumar, & A. Pandey (Eds.), *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 11–30). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64083-3.00002-6>
- Kala, K., & B. Bolia, N. (2020). Analysis of citizen's perception towards segregation and composting. *Environment, Development and Sustainability*. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s10668-020-01084-3>
- López, C., Urrutia, C., & Moreno Panesso, L. F. (n.d.). Porcentaje de residuos sólidos aprovechados - PRSA. Cifras e Indicadores de Medio Ambiente en Bogotá. Retrieved March 19, 2023, from <https://oab.ambientebogota.gov.co/indicadores/?id=6ec732c0-1ddd-11ed-9b72-d7f296417cc2#info>
- Masud, M. H., Mourshed, M., Hossain, Md. S., Ahmed, N. U., & Dabnichki, P. (2023). Chapter 2 - Generation of waste: problem to possible solution in developing and underdeveloped nations. In P. Singh, P. Verma, R. Singh, A. Ahamad, & A. C. S. Batalhão (Eds.), *Waste Management and Resource Recycling in the Developing World* (pp. 21–59). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90463-6.00021-X>
- Martínez, J. A. (2014). Escalafón global de ciudades para la atracción de inversión industrial en la cuenca del Pacífico latinoamericano. *Estudios Gerenciales, El Sevier Doyma* , 103-114.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *Resolución 2184 del 26 de diciembre de 2019 “Por la cual se modifica la resolución 668 de 2016 sobre uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones.”* https://www.andi.com.co/Uploads/res._2184_-_2019_por_la_cual_se_modifica_la_resolucion_668_de_2016_sobre_uso_racional_de_bolsas_plasticas_y_se_adoptan_otras_disposiciones_1.pdf
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2 de Noviembre de 2017). *Función Pública* . Obtenido de *Función Pública* : <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=84140>

- Molano Camargo, F. (2019). El relleno sanitario Doña Juana en Bogotá: la producción política de un paisaje tóxico, 1988-2019. *Historia crítica, Universidad de Los Andes*, 127-149.
- Moreno Murillo, J. M. (2001). Fotointerpretación y dinámica del deslizamiento en el relleno sanitario de Doña Juana, *Geología Colombiana*, 153-175.
- Observatorio Ambiental de Bogotá. (8 de Marzo de 2022). *Observatorio Ambiental de Bogotá*. Obtenido de Observatorio Ambiental de Bogotá Web site: <https://oab.ambientebogota.gov.co/relleno-dona-juana-recibio-casi-3-millones-de-toneladas-de-residuos-en-2021/>
- Ortiz Nadal, E., Mayo Maldonado, J., & Valdez Reséndiz, J. (n.d.). *Energía a partir de basura*. Retrieved May 27, 2023, from https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/631572/8_t6s2_c8_pdf_1.pdf?sequence=1
- Pardini, K., Rodrigues, J. J., Diallo, O., Kumar Das, A., C. de Albuquerque, V. H., & Kozlov, S. (2020). A Smart Waste Management Solution Geared towards Citizens. *Sensors*, 20.
- Rodríguez Grande, S. M. (2020). *Programa de separación en la fuente de residuos sólidos aprovechables en el Departamento Administrativo de la Presidencia de la República*. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/29302/2020solanyimelissarodriguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodriguez Rico, J. J. (2002). *Manejo de Basuras en Bogotá y en Viena*, Multicolor.
- Shanker, R., Khan, D., Hossain, R., Islam, M. T., Locock, K., Ghose, A., Sahajwalla, V., Schandl, H., & Dhodapkar, R. (2022). Plastic waste recycling: existing Indian scenario and future opportunities. In *International Journal of Environmental Science and Technology*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04079-x>
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, República de Colombia. (2020). *Informe Nacional de Disposición Final de Residuos Sólidos*. Bogotá D.C.: Departamento Nacional de Planeación.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S. A. (1998). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*, Mc Graw Hill.

- Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos UAESP 2020, Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), documento técnico de soporte 2020, *publicación anual UAESP*, 94-102.
- Vera-Romero, I., Jaramillo, M., Martínez, J., & Ortiz, A. (2015). Potential of Power Generation from Biogas: Part II: Municipal Solid Waste. 16, 471–478.
- Wójtowicz-Wróbel, A., Kania, O., Kocewiak, K., Wójtowicz, R., Dzierwa, P., & Trojan, M. (2023). Thermal-flow calculations for a thermal waste treatment plant and CFD modelling of the spread of gases in the context of urban structures. *Energy*, 263, 125952. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125952>
- Yawen Deng, X. C. (10 de julio 2022). A multi-objective optimization approach for clean treatment of food waste from an economic-environmental-social perspective: A case study from China. *Journal of cleaner production*, Article 131559.