

¿CÓMO IMPLEMENTAR UN MODELO DE ECONOMÍA CIRCULAR EN EL VALLE DE ABURRÁ?

**ESTEFANÍA ESPINOSA SOTO
NATALIA ANDREA LÓPEZ DÍAZ**

**Trabajo de grado para optar al título de
Estefanía Espinosa Soto, Ingeniera Administradora
Natalia Andrea López Díaz, Ingeniera Administradora**



**UNIVERSIDAD EIA
INGENIERÍA ADMINISTRATIVA
ENVIGADO
2019**

Un valle que, con su armonía urbanística, tranquilidad y biodiversidad conquista toda clase de investigación, esto es: El Valle de Aburrá, un espacio que como ente institucional se dedica este trabajo de grado y al cual se desea dejar un legado por ser ese cálido hogar para los antioqueños donde se puede crecer, contribuir y ayudar para transformar una parte del corazón de la región. Sin dudarlo, es el lugar que nos ha brindado todo derecho constitucional, el cual merece alternativas como solución a sus necesidades.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

AGRADECIMIENTOS

A Dios en primera línea, a nuestras familias y en especial a las docentes Manuela Escobar Sierra y María Camila Ochoa, quienes se interesaron por aportar sus conocimientos en la construcción de este trabajo.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	12
1. PRELIMINARES.....	14
1.1 Planteamiento del problema	14
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	16
1.2.1 Objetivo General.....	17
1.2.2 Objetivos Específicos	17
1.3 Marco de referencia.....	18
1.3.1 Antecedentes.....	18
1.4 Marco teórico.....	21
2. METODOLOGÍA.....	24
3. MODELO.....	30
4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	36
5. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES.....	39
REFERENCIAS	40

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Diseño metodológico: Estudio de gestión de residuos en el Valle de Aburrá	25
Tabla 2. Diseño metodológico: Análisis procesos de implementación de modelos de economía circular en la literatura a nivel internacional y local.	26
Tabla 3. Escenario de igualdades en ambas políticas.....	38
Anexo 1. Tabla 4 Regulación Gestión de Residuos Sólidos.....	44

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Cifras sobre el manejo de residuos sólidos	15
Figura 2. Elementos básico en el diagrama de flujos y stock	20
Figura 3. Fases del ciclo de vida de los productos.....	21
Figura 4. Área de estudio Valle de Aburrá	24
Figura 5. Aplicación de economía circular al modelo dinámico de gestión de residuos sólidos.	27
Figura 6. Metodología para implementación de procesos en dinámica de sistemas	29
Figura 7. Diagrama Causal: Gestión de Residuos Sólidos.....	30
Figura 8. Diagrama de stock y flujo de la gestión lineal de residuos sólidos en el Valle de Aburrá.....	31
Figura 9. Política de incentivo a la fuente por acción de reciclar.	33
Figura 10. Lookup tasa de aprovechamiento por incentivo.	33
Figura 11. Política cobro a la fuente por tasa de aprovechamiento.	34
Figura 12. Lookup tasa de aprovechamiento por cobro.	34
Figura 13. Diagrama de stock y flujo de la gestión circular de residuos sólidos. Planteada por las autoras para la gestión de los residuos sólidos en el Valle de Aburrá.	35
Figura 14. Tasa de aprovechamiento de acuerdo al nivel de incentivo	36
Figura 15. Cantidad de residuos no aprovechables afectada por incentivo	36
Figura 16. Cantidad de residuos no aprovechables afectada por incentivo.....	37
Figura 17. Escenario de igualdades en ambas políticas.	38
Anexo 2. Figura 18. Problema priorizado por el PGIRS	44

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

LISTA DE ANEXOS

pág.

Anexo 1. Tabla 4 Regulación Gestión de Residuos Sólidos.....	44
Anexo 2. Figura 18. Problema priorizado por el PGIRS	44

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
(Ecuación 1)	32
(Ecuación 2)	33
(Ecuación 3)	33
(Ecuación 4)	35
(Ecuación 5)	35
(Ecuación 6)	35
(Ecuación 7)	35

GLOSARIO

ECONOMÍA CIRCULAR: Una economía circular es aquella en la cual el valor de los productos, los materiales y los recursos se mantenga en la economía durante el mayor tiempo posible, y en la que se reduzca al mínimo la generación de residuos.

DINÁMICA DE SISTEMAS: Es una metodología para el estudio y manejo de sistemas de realimentación complejos.

RESIDUOS SÓLIDOS: Se entiende por residuo sólido todo material destinado al abandono por su productor o poseedor, pudiendo resultar de un proceso de fabricación, transformación, utilización, consumo o limpieza.

RECICLAJE: El reciclaje consiste en obtener una nueva materia prima o producto, mediante un proceso fisicoquímico o mecánico, a partir de productos y materiales ya en desuso o utilizados. De esta forma, conseguimos alargar el ciclo de vida de un producto, ahorrando materiales y beneficiando al medio ambiente al generar menos residuos.

GESTIÓN: Es la acción y el efecto de gestionar y administrar. De una forma más específica, una gestión es una diligencia, entendida como un trámite necesario para conseguir algo o resolver un asunto

CICLO: Serie de fases o estados por las que pasa un acontecimiento o fenómeno y que se suceden en el mismo orden hasta llegar a una fase o estado a partir de los cuales vuelven a repetirse en el mismo orden.

REGULACIÓN: Es la acción y efecto de regular (ajustar o poner en orden algo, reglar el funcionamiento de un sistema, determinar normas). El término suele utilizarse como sinónimo de normativa.

RELLENO SANITARIO: Se denomina relleno sanitario al espacio donde se depositan los residuos sólidos de una ciudad después de haber recibido determinados tratamientos. Para impedir que se contamine el subsuelo, se impermeabiliza el terreno con polietileno de alta densidad u otra sustancia y se coloca arcilla.

DESECHOS: Representan a todos aquellos objetos, sustancias o materiales que sobran o restan de algo que ha sido trabajado, procesado o consumido y que ya no posee algún tipo de uso, es decir, es inservible y, por tanto, necesita ser eliminado.

INCENTIVO: Estímulo que se ofrece a una persona, grupo o sector de la economía con el fin de elevar a producción y mejorar los rendimientos.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

RESUMEN

En el desarrollo del trabajo se incurre en la necesidad de replantear la gestión de residuos sólidos, tratando “las basuras” como un sistema basado en un modelo de la economía circular, ya que Colombia es uno de los países de América Latina que más residuos genera, y uno de los países que menos recicla, según el Ministerio de Ambiente (Ambiente, 2017). Este modelo propone que los residuos se integren en un ciclo de economía perfecta permitiendo mantener durante el mayor tiempo posible el valor de los productos y materiales, donde los residuos se reducen al mínimo, y los recursos se conservan dentro de la economía aun cuando un producto ha llegado al final de su vida útil. La metodología permite incorporar variables como la participación voluntaria en el reciclaje y el efecto de un incentivo y un cobro a la fuente. Finalmente, el modelo proporciona una plataforma para el examen de diversas alternativas estructurales y de políticas para la gestión de los residuos sólidos.

Palabras clave: economía circular, dinámica de sistemas, reciclaje, políticas, relleno sanitario.

ABSTRACT

In the development of the work, there is a need to rethink solid waste management, treating "waste" as a system based on a circular economy model, since Colombia is one of the Latin American countries that generates more waste, and one of the countries that recycles less, according to the Ministry of Environment (Ambiente, 2017). This model proposes that waste be integrated into a perfect economic cycle, allowing the value of products and materials to be maintained for as long as possible, where waste is reduced to a minimum, and resources are conserved within the economy even when a product has reached the end of its useful life. The methodology allows variables such as voluntary participation in recycling and the effect of an incentive and a charge at source to be incorporated. Finally, the model provides a platform for the examination of various structural and policy alternatives for solid waste management.

Keywords: *circular economy, system dynamics, solid waste, recycling, policies, landfill.*

INTRODUCCIÓN

El comportamiento exponencial de la explotación de los recursos naturales ha hecho que en el mundo se aumente el nivel de preocupación por un futuro impreciso (Song et al., 2015). El desarrollo industrial, la era del consumo y la imparcialidad en la sostenibilidad han activado de manera desbordada la generación de desechos sólidos en el mundo (Song et al., 2015). De acuerdo con la Fundación Ellen MacArthur (2019), reconocida internacionalmente por la investigación de la economía actual, expresa que la economía lineal de “usar y tirar” es obsoleta y se convierte en la necesidad de apostar a una economía circular e infinita. Definida esta como el proceso para mantener la utilidad y el valor en todo el ciclo de vida de los productos, componentes y recursos.

En el contexto de la economía lineal la gestión de los residuos sólidos se ha convertido en una complicación ambiental mundial (World Bank, 2018). Medido en cifras, la producción diaria promedio per cápita de desechos sólidos en Colombia se encuentra en un intervalo de 0.4 a 0.6 kilogramos (Velez and Mora, 2016). Específicamente, en el Valle de Aburrá, conformado por 10 municipios conurbados del departamento de Antioquia-Colombia, se generan diariamente 3.190 toneladas de residuos, su capital, Medellín, genera entre 1.800 y 2.000 toneladas diarias de basura, lo que equivale a 657.000 y 730.000 anuales (Ambiente, 2017). De las que se recicla el 18.7% (Zapata Ospina, 2017). Según la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (Superservicios, 2017), Cali es superada por Bogotá, que aporta 2,1 millones de toneladas de residuos al año, que corresponden al 21,1 % del total nacional. En tercer lugar, se ubica Medellín, con 612.644 toneladas; seguida de Barranquilla y Cartagena, que producen 483.615 toneladas y 391.445 toneladas anuales, respectivamente.

La disposición final de los residuos se realiza en rellenos sanitarios. Los cierres de estos se deben a que llega al límite la capacidad máxima de almacenamiento, y por diseño no se aceptan más vasos, lo que lleva a la solicitud de licencias para un nuevo relleno o modificación del tiempo de vida útil, evaluando afectaciones tanto ambientales como económicas (Alejandra et al., 2015) . Uno de los rellenos sanitarios existentes es “La pradera”, el cual inició operaciones el 6 de junio de 2003, cuando el antiguo relleno de la Curva de Rodas alcanzó su máxima capacidad, actualmente recibe toneladas de basuras provenientes de 37 municipios de Antioquia, y es por esto que hoy en día tiene problemas de impacto ambiental, entre los principales, la falta de sistemas de tratamiento (Noguera and Olivero-Verbel, 2010).

Brian Dylson y Ni-Bin Chang, formulan que la predicción de la generación de residuos permite controlar la cantidad futura de basuras en los rellenos sanitarios. Expresan que la

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

gestión debe desarrollarse por un modelo fiable de dinámica de sistemas, pues este permite simular la tendencia económica y la cantidad de reciclaje. (Dylson & Bin, 2005).

Por su parte, Marshall, Karavezyris y Farahbakhs manifiestan que el concepto de dinámica de sistemas es una herramienta trascendente para la toma de decisiones en: planificación, supervisión y optimización de basuras (Karavezirys, Timpe & Marzi, 2002). El modelo de dinámica de sistemas es una herramienta de alto rango para planificadores estratégicos para analizar los resultados una vez se haga separación en la fuente en los sistemas de gestión de residuos y para modelar una recolección de residuos plausible (Sukholthaman & Sharp, 2016).

Otro aspecto importante es que los sistemas modelados no se asumen lineales, se postula que tienen una lógica de operación circular (Schaffernicht, 2008). En casos como la industria textil los gobiernos se centran cada vez más en construir sistemas de gestión aplicando economía circular. Como el caso en el que el Consejo Nórdico propuso una estrategia textil nórdica, con el objetivo de mejorar la reutilización y el reciclaje de los textiles, basada en un sistema en el que los productos textiles, los tejidos y las fibras se ciclan de forma infinita y eficaz a través de circuitos conectados dentro de las industrias y entre ellas de forma transparente y económica. (Sandvik, 2017)

A partir de esto, se plantea la necesidad de resolver ¿Cómo implementar un modelo de economía circular en el Valle de Aburrá? Para esto, el desarrollo de la investigación comienza con una revisión de literatura donde diferentes autores plantean el modelo de economía circular y la dinámica de sistemas como dos soluciones a la gestión de residuos; seguidamente se presenta la metodología donde se describe el desarrollo individual del estudio de la gestión de residuos sólidos en el Valle de Aburrá, el análisis de políticas planteadas en revisión de literatura y el desarrollo de un modelo de dinámicas de sistemas, enseñando el enfoque de investigación de cada objetivo. Una vez trazado, ejecutado y simulado el modelo se realiza un análisis de los resultados arrojados afectados por la decisión de escenario. Finalmente, en el capítulo de análisis y resultados se expone la discusión con los diferentes autores de la revisión de literatura, afirmando u objetando sus conclusiones.

1. PRELIMINARES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El modelo de basuras del país ha sido un “caos”, así lo expresó el secretario de Hábitat y medio ambiente de la ciudad de Bogotá, en una entrevista desarrollada el 05 de noviembre de 2018 en la ciudad de Bogotá, el cual dijo que en gran parte, el responsable del actual problema con las basuras en la ciudad de Bogotá es el exalcalde Gustavo Petro, de igual forma en la ciudad de Medellín, Jorge Melguizo, expone que cuando establecieron el “botadero de Moravia”, la fracasada planta de Compostaje cerca de la Feria de ganado y actualmente “La Pradera”, es otro claro ejemplo claro de lo que no se debe hacer con la disposición de las basuras (Melguizo, 2007). Es tal el problema con los residuos sólidos en Colombia que ha llegado al punto de formarse emergencia ambiental por colapso de basuras, como sucedió en el relleno sanitario de la ciudad de Bucaramanga, así lo afirma el coordinador municipal de Gestión del Riesgo (Ortega, 2018).

En este momento, Medellín genera entre 1.800 y 2.000 toneladas diarias de basura (entre 657.000 y 730.000 anuales, según la (Ambiente, 2017) su porcentaje de recuperación es decir, lo que recicla- apenas es del 18.7% (Zapata Ospina, 2017). La gestión de residuos se ha considerado un problema ingenieril, lo que ha motivado a que la literatura de tipo tecnológico y ambiental relacionada sea muy amplia, mientras la literatura económica ha quedado mucho menos desarrollada y dispersa hasta hace pocos años. Esta situación ha llevado a algunos autores como Sara García afirmar que el problema de la gestión de residuos sólidos proviene de la falta de reconocimiento hacia la naturaleza económica del problema, aunque se esté generando cambio ha sido lento para evitar la crisis actual (García, 2016).

Cada día el relleno sanitario “La Pradera”, de Don Matías recibe 3.300 toneladas de basura proveniente de 35 municipios de Antioquia; Medellín es el municipio que más contribuye a esa cifra. La Pradera, el relleno sanitario de mayor capacidad en Antioquia, en la actualidad es el único para esta ciudad y el Valle de Aburrá. Elizabeth Carvajal, docente del Departamento de Geociencias de la Universidad Nacional planteó en el artículo de María Isabel Ortiz, que a corto plazo lo ideal sería ampliar la capacidad de La Pradera en lugar de buscar otro lugar y afectar a una comunidad diferente (Ortiz, 2016). Igual que Gustavo Ospina, expresa que La proyección a 2020, es que Antioquia podría tener una emergencia por rellenos sanitarios. A ese ritmo de proyección que plantea Ospina, explica Jorge Lenin Urrego Ángel, gerente de *Emvarias*, el vaso Altaír (el trozo del relleno sanitario La Pradera que está acondicionado para recibir la basura) estará lleno en

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

los primeros meses del año 2023. Y cuando ese terreno de 22 hectáreas se cierre, se habrán acumulado allí más de 5,5 millones de metros cúbicos de basura; es decir, unas 2.217 piscinas olímpicas repletas de desechos.

Si escalamos las cifras a un hogar del valle de Aburrá conformado por cuatro personas, en promedio, se genera 2 kilos de basura al día (Alejandra et al., 2016), de esta cantidad, según el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos, el 29 % es reciclable. En el área metropolitana solo se estaría aprovechando el 14 %, una cifra muy inferior al potencial que podría evitar llevarse al relleno sanitario La Pradera, en Don Matías, donde se disponen los residuos de los 10 municipios del Aburrá (Benavides, 2017).

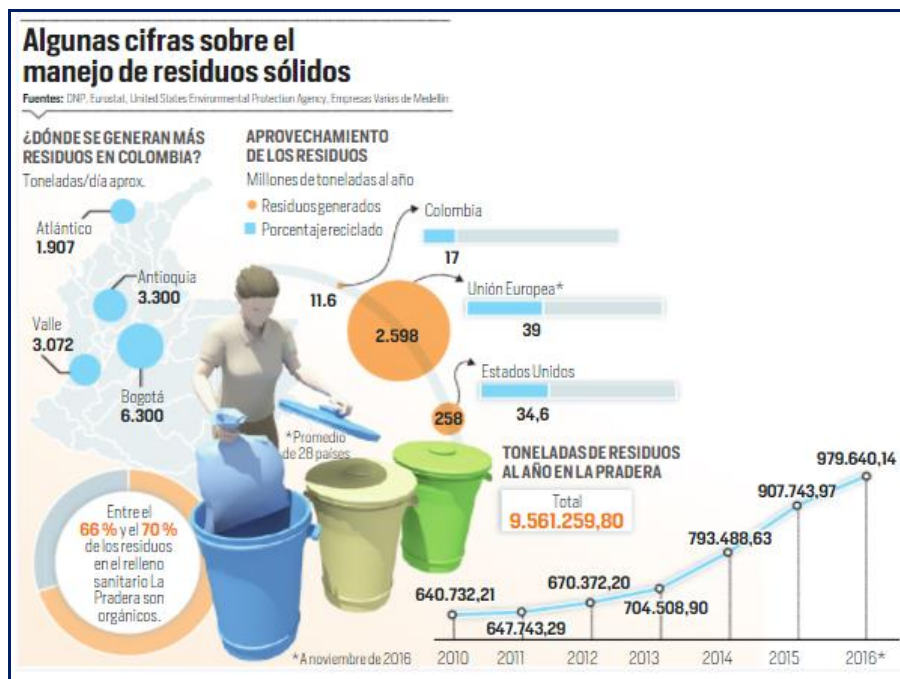


Figura 1. Cifras sobre el manejo de residuos sólidos

(Empresas Varias de Medellín, 2016.)

La explicación de dichas cifras puede deberse a diversos factores, expertos como Jorge Díaz explica en su documento que el proceso de desarrollo urbano implica crecimiento poblacional, cambios en patrones de consumo e incremento en el ingreso, siendo éstos, los principales factores que explican el aumento en la generación de residuos sólidos domiciliarios (Díaz, 2014). Investigaciones trazan que una de las soluciones para estabilizar e incluso disminuir el crecimiento de desechos es pensar la gestión de residuos como un sistema. La capacidad de comprender cómo influyen entre sí las partes dentro de un todo y la relación del todo con las partes, resulta fundamental (Foundation 2017).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

El sistema de las basuras no puede ser pensado independiente de más factores, para que se ejecute bien debe asociarse al concepto de economía circular (André, 2006). En un sistema perfecto de economía circular el valor de los productos y materiales se mantiene durante el mayor tiempo posible; los residuos se reducen al mínimo, y los recursos se conservan dentro de la economía aun cuando un producto ha llegado al final de su vida útil, con el fin de volverlos a utilizar repetidamente y seguir creando valor, (André, 2006). Por la magnitud de este problema que se ha venido desarrollando es necesario plantear **¿Cómo implementar un modelo de economía circular en el Valle de Aburrá?**

1.2 JUSTIFICACIÓN

Mundo

Según el documento “*What a Waste*” llevado a cabo por el Banco Mundial (Banco mundial, 2012), a medida que el mundo avanza hacia su futuro urbano, la cantidad de residuos sólidos municipales (MSW-por su sigla en inglés) como uno de los subproductos más importantes de un estilo de vida urbano, está creciendo aún más rápido que la tasa de urbanización:

- En el mundo se generan 2.010 millones de toneladas de basura anuales. Al menos el 33 % de esa cantidad no es tratada o reciclada. Así lo alertó el más reciente informe del Banco Mundial, llamado "Los desechos 2.0".
- El mundo produce unos 10.000 millones de toneladas anuales de residuos y no se recoge ni se somete a tratamiento ni la mitad de ellos, según estimaciones de expertos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 2008)
- En la región metropolitana de Chile el 100% de los residuos recolectados formalmente son depositados en rellenos sanitarios (Vásquez, 2005). Un modelo posible a seguir por sus instalaciones de estaciones de transferencias, en el que reducen costos por concepto de transporte.
- El Banco Mundial pronostica que para el año 2025 estas cifras serán: 4,3 billones de residentes urbanos generando alrededor de 1,42 kg habitante día de MSW (2,2 billones de toneladas al año). Cifras que evidencia el crecimiento del problema y el inminente desafío para su gestión (Banco mundial, 2012).

Colombia

- Según el informe, Colombia generó 9'967.844 toneladas de basura durante el año 2015, de las cuales el 96.8 % fueron a parar a los rellenos sanitarios, es decir, anualmente llegan más de 9 millones de toneladas de basuras, un panorama

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

preocupante si se tiene en cuenta que la vida útil de muchos de estos sitios está llegando a su final y que con el crecimiento poblacional que vienen presentando las ciudades, la capacidad de estos lugares se agota cada vez más rápido. (Superintendencia de Servicios Públicos, 2017)

- A principios del año 2017 el Ministerio de Ambiente dio a conocer que, a diario, en Colombia se producen entre 30.000 y 32.000 toneladas de basuras, de las cuales sólo se recicla el 17%. (Ambiente, 2017)
- En Colombia la generación de residuos sólidos va en incremento, lo que guarda coherencia con la tendencia latinoamericana y mundial. Esto se evidencia en el Anexo 3, en la que se puede observar a pesar de solo tres años de registro de datos, cómo

Medellín

- En el área metropolitana solo se estaría aprovechando el 14 %, una cifra muy inferior al potencial que podría evitar llevarse al relleno sanitario La Pradera, en Don Matías, donde se disponen los residuos de los 10 municipios del Aburrá (Benavides, 2017).
- Según los estratos socioeconómicos, la alcaldía de Medellín junto con la universidad de Medellín, caracterizaron la generación de residuos sólidos, obteniendo los resultados del Anexo 4. Es un estudio importante para la investigación, ya que se plantea la hipótesis de que estos estratos no deberían influir en posibles políticas, y tampoco en la gestión de residuos sólidos.

1.2.1 Objetivo General

Plantear un esquema dinámico para implementar un modelo de economía circular en el Valle de Aburrá.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Estudiar la gestión de los residuos sólidos en el Valle de Aburrá.
- Analizar procesos de implementación de modelos de economía circular en la literatura a nivel internacional y local.
- Desarrollar un modelo de dinámica de sistemas para comparar procesos de implementación de economía circular.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

1.3 MARCO DE REFERENCIA

1.3.1 Antecedentes

El Valle de Aburrá como entidad territorial está regida por un Plan de Gestión Integral de los Residuos Sólidos (PGIRS), caracterizada por ser una política pública establecida por el gobierno nacional (Ministerio de Vivienda, 2015). Su equipo técnico identificó problemas y los priorizó en la última actualización del PGIRS en 2016, entre estos: que no existen acuerdos de desarrollo estratégicos para la innovación y tecnología en la gestión de residuos sólidos, que hay deficiente aprovechamiento de los residuos sólidos y que no se cuenta con áreas futuras que garanticen la disposición final de los residuos generados (Alejandra et al., 2015).

De acuerdo a esto, el estudio de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva denominado Waste-to-Energy publicado en el sitio web de la gobernación de Antioquia, expone en resumen que las necesidades de una correcta y eficiente gestión de residuos, están dadas por: la mitigación del impacto ambiental por disposición final de residuos, recuperación y aprovechamiento de residuos, prolongación de la vida útil de los rellenos sanitarios y la disminución de la cantidad de estos que llega a botaderos (Gobernación de Antioquia et al., 2015).

El mundo de las basuras, es un espacio delicado en el que es casi nulo improvisar. A nivel global, la cantidad de desechos podría alcanzar hasta 27 mil millones de toneladas en 2050, de las cuales un tercio provendrá de Asia, aportada por dos de los países de masa mundial, China e India (Mian et al., 2017), sin embargo, Colombia no es la excepción, la rápida urbanización provocada por el aumento acelerado de la población y la industrialización, ha dado lugar a un crecimiento en la cantidad de la producción de residuos sólidos, generando estrés al medio ambiente (Bustamante et al., 2018).

Los entes estatales se han quedado sin la capacidad total autónoma para enfrentar los problemas que implica la administración debido a “la falta de organización, recursos financieros, complejidad y multidimensionalidad del sistema” (Guerrero et al., 2013). El reto está en que el ente estatal, responsable de la gestión de residuos en las ciudades, debe proporcionar un sistema eficaz y eficiente a los habitantes (Bundela et al., 2010)

La gestión de residuos sólidos comprendido como un sistema, implica la interacción entre variables que lo conforman, siendo los recursos naturales, el efecto ambiental y el gasto financiero las más trascendentales (Kollikkathara et al., 2010). La brecha en la construcción de este sistema, ha sido por décadas, la falta de claridad en las políticas y cuando la esquematización las traza independientes de las variables causales reales que están entrelazadas en su conjunto, provocando mayores riesgos de error (ESSEX, 2006).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Por esta razón, la planificación de políticas para el manejo de residuos sólidos no puede separarse de las variables y sus efectos que la componen.

En el mundo se ha aplicado la dinámica de sistemas y el concepto emergente de economía circular para analizar y justificar los escenarios futuros de los desechos sólidos, promovidos por un cambio en el comportamiento humano y planteamiento de políticas.

Dinámica de Sistemas

Originado por el profesor Jay Forrester en 1958, el interés en la dinámica de sistemas, ha sido inducido a medida que las personas valoran su capacidad nuclear para representar el mundo real. Según Forrester, la dinámica de sistemas, en adelante SD, es una metodología establecida para la comprensión, visualización y análisis de sistemas complejos de retroalimentación dinámica. La teoría de dinámica de sistemas se convierte en una herramienta conceptual que permite entender el complejo comportamiento del mundo real con el objetivo de usar las simulaciones para diseñar políticas y organizaciones más efectivas (Sterman, 2000)(Sterman, 2000). La simulación SD evalúa las políticas de manera prospectiva, en un contexto de "qué pasaría si" y el resultado se utiliza para investigar la relación entre los comportamientos de un sistema a lo largo del tiempo y su estructura subyacente y las reglas de decisión (Ding et al., 2016).

Las contribuciones que aporta la dinámica del sistema han tenido aplicaciones en la planificación para los países en desarrollo (Kollikkathara et al., 2010). A medida que avanza el tiempo, el SD tiene un rango más amplio en la utilización, campos como los estudios económicos, sociales, empresariales, agrícolas y ecológicos, que anteriormente no se había podido explorar (Ding et al., 2016).

Ding y su equipo de trabajo (2016), desarrollaron un sistema de simulación de desempeño ambiental basado en la dinámica de la gestión de reducción de residuos de construcción en China, Sukholthaman y Sharp (2016) propusieron un modelo de dinámica de sistemas para evaluar los efectos de la separación en la fuente de la gestión de residuos sólidos municipales, o el trabajo de Di Nola et al (2018), en el que desarrolló un modelo dinámico para analizar las interacciones entre los principales elementos del sistema de residuos en Campania, un modelo que les proporcionó un marco analítico para explorar los efectos de las políticas de residuos alternativas.

John D.W. Morecroft, autor de publicaciones en dinámica de sistemas, explica que el propósito de los modelos y simulaciones es preparar a las organizaciones e individuos para futuros alternativos, exhibiendo con un sentido realista de cómo serían. La planeación basada en estos futuros ayuda a desafiar, moldear, cambiar y enriquecer su interpretación de un mundo complejo (Morecroft, 2015).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Una vez construido el modelo de dinámica de sistemas, autores lo han simulado basados en políticas públicas, para demostrar cómo la dinámica del sistema es particularmente adecuada para ayudar a comprender los sistemas complejos de gestión de residuos, descubrir su comportamiento contrario a la intuición y explorar los efectos de las diferentes políticas y opciones de gestión (Di Nola et al., 2018).

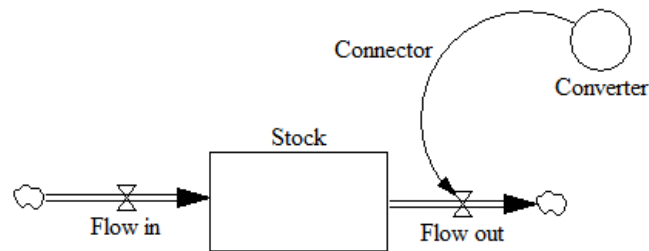


Figura 2. Elementos básicos en el diagrama de flujos y stock

(Lee et al., 2019)

Economía Circular

La economía circular se entiende como un ciclo de reiniciación continua, en el que se reduce a lo mínimo la utilización de recursos naturales, los residuos y por ende el desgaste en energía (McKinsey & Company, 2014). Esto es la consecuencia de diseño, mantenimiento, reparación, reutilización, remanufactura y reciclaje de larga duración (Boiten et al., 2017). Es una teoría caracterizada por ser restauradora y regenerativa, que utiliza y reutiliza el capital natural de la manera más eficiente posible y que encuentra valor a lo largo del ciclo de vida de los productos (Koszewska, 2018). Frérot plantea en la recuperación de residuos que el rescate se encuentra en el centro del concepto de economía circular y debe convertirse en uno de los pilares del renacimiento industrial (Frérot, 2014).

El agotamiento de los recursos finitos motiva a que este nuevo concepto de circularidad, ayude a utilizar de manera correcta y eficiente los residuos, reemplazando a su vez un sistema lineal de fabricación y eliminación. Sin embargo, se refuta que el término de sostenibilidad no significa una teoría de "ciclo"; según Geissdoerfer et al. (2017). La sostenibilidad tiene como objetivo beneficiar al medio ambiente, a la economía y a la sociedad en general, mientras que los principales beneficiarios de la economía circular parecen ser los actores económicos que implementan el sistema. Aun así "el ciclo" se considera una de las varias opciones para fomentar la sostenibilidad del sistema (Abdelkafi and Täuscher, 2016).

La Fundación Ellen MacArthur (2019) es un ejemplo de una iniciativa de colaboración de este tipo: "Recobrando Moda " (*Relooping Fashion*), en Finlandia, que pone a prueba un

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

experimento único de producción de reciclaje de ropa de algodón, y ha desarrollado un ecosistema empresarial de cadena de valor cruzada en línea con los principios de la circular. Asif Farazee (2017) utilizó el concepto de economía circular para fabricar productos cerrados, este enfoque implica que, para una reutilización eficiente y efectiva de los recursos, los productos deben ser diseñados para múltiples ciclos de vida y comercializados a través de modelos de negocio en los que tanto la entrega de valor como la recuperación son partes planificadas del sistema.

En la

Figura 3. Fases del ciclo de vida de los productos

(Mihelcic et al., 2003).se muestra el concepto de economía circular formulado por profesionales y empresas del mundo actual. El mensaje es que los círculos internos de la figura, reutilización, remanufactura y reacondicionamiento de productos, exigen menos recursos y energía y además posiblemente sean más económicos que el reciclaje convencional de materiales como materias primas de baja calidad (Korhonen et al., 2018). En la mayoría de los casos se prefieren los lazos internos de reutilización y remanufactura porque requieren menos recursos naturales y energía (Mihelcic et al., 2003).



Figura 3. Fases del ciclo de vida de los productos

(Mihelcic et al., 2003).

1.4 MARCO TEÓRICO

De manera secuencial al planteamiento del proyecto se presenta las teorías y definiciones de los conceptos implementados para el desarrollo de la investigación:

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Lo primero es entender el término de **“La economía circular”** que para la propuesta es la teoría que tratará de justificar por qué la gestión de los residuos sólidos influye de manera asertiva como un sistema económico. La economía circular es reparadora y regenerativa, y pretende conseguir que los productos, componentes y recursos en general mantengan su utilidad y valor en todo momento. Este concepto distingue entre ciclos técnicos y biológicos. Tal como la imaginan sus creadores, la economía consiste en un ciclo continuo de desarrollo positivo que conserva y mejora el capital natural, optimiza el uso de los recursos y minimiza los riesgos del sistema al gestionar una cantidad finita de existencias y unos flujos renovables. Además, funciona de forma eficaz en todo tipo de escala. (Macarthur, 2017).

Luego los **“residuos sólidos”**, que es el principal material que se está tratando. Se entiende por residuo sólido todo material destinado al abandono por su productor o poseedor, pudiendo resultar de un proceso de fabricación, transformación, utilización, consumo o limpieza (González, 2016). Dentro de la clasificación de residuos sólidos, esta investigación se centrará en los residuos sólidos urbanos:

Residuos sólidos urbanos: los residuos sólidos urbanos, conocidos popularmente como “basuras” que se producen en los núcleos de población, constituyen un problema para el hombre desde el momento en que su generación alcanza importantes volúmenes y, como consecuencia, empieza a invadir su espacio vital o de esparcimiento. Se incluyen todos los residuos que se generan en la actividad doméstica, comercial, industrial y de servicios. Según la procedencia y la naturaleza de estos residuos, se pueden clasificar en: domiciliarios (procedentes de la actividad doméstica); voluminosos de origen doméstico (embalajes, muebles); y comerciales, procedentes de las actividades empresariales, (Alejandra et al., 2016).

Seguidamente **“La dinámica de sistemas”** que es una metodología para el estudio y manejo de sistemas de realimentación complejos. Una de las características de esta disciplina es el uso del computador para realizar sus simulaciones, lo que ofrece la posibilidad de estudiar el comportamiento y las consecuencias de las múltiples interacciones de los elementos de un sistema a través del tiempo. Los modelos de simulación dinámica permiten estudiar cómo las políticas, decisiones, estructura y retrasos influyen en el crecimiento y la estabilidad de un sistema (Morlán, 2010).

Para construir el modelo de dinámica de sistemas estos autores explican que, se identifica un problema, en este caso, la gestión de residuos sólidos, y se desarrolla una hipótesis dinámica que explique la causa del problema (Dylson, 2005).

Karavezyris et al. (2002) desarrolló una metodología para incorporar variables cualitativas como la participación voluntaria en el reciclaje y el impacto de la regulación cuantitativamente. El modelo proporciona una plataforma para el examen de diversas

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

alternativas estructurales y de políticas para la gestión sostenible de los residuos sólidos. Además de las variables cualitativas, la dinámica permite realizar análisis de políticas a través de diversos escenarios, en los que permite entender el comportamiento del sistema ante una alteración establecida a través de una o varias políticas a alguna los factores.

La dinámica del modelo está determinada por los bucles de realimentación en el diagrama causal. En estos, un aumento inicial en cualquiera de los elementos involucrados conducirá a un aumento o disminución adicional al final. En un bucle positivo, un cambio en un elemento pone en movimiento una cadena de eventos alrededor del bucle que eventualmente produce una influencia de refuerzo en ese elemento. En un bucle negativo, un cambio en un elemento pone en movimiento una cadena de eventos alrededor del bucle que eventualmente produce una influencia contraria en ese elemento (Karavezirys, 2002).

Una vez definido las variables, las entradas y el sistema en general la simulación se ejecuta en un modelo de dinámica de sistemas que se rige por completo por el paso del tiempo. El modelo puede comenzar a producir las consecuencias relacionadas para esas variables del sistema basadas en el inicio de la acción y el flujo de información (Dylson, 2005).

2. METODOLOGÍA

Área de estudio



Figura 4. Área de estudio Valle de Aburrá

(Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2019).

El Valle de Aburrá está ubicado en Colombia, en el departamento de Antioquia. Medellín es la ciudad núcleo, alrededor de la cual están conurbados los municipios que se muestran en la

Figura 4. Área de estudio Valle de Aburrá

(Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2019).; vinculados entre sí por dinámicas e interrelaciones territoriales, ambientales, económicas, sociales, demográficas, culturales y tecnológicas para la programación y coordinación de su desarrollo sostenible, desarrollo humano, ordenamiento territorial y prestación racional de servicios públicos (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2019).

El Valle de Aburrá compuesto por diez municipios y un sinnúmero de necesidades, sociales, políticas, culturales y tal vez la menos percibida, una necesidad ambiental, ha tenido desaciertos en la planeación de un modelo de gestión de basuras (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2019).

Para la construcción del modelo, como entidad territorial, del Valle de Aburrá se utilizó principalmente información como la población por hogar, comprendido por todos los municipios; la entidad que los proporciona es el Área Metropolitana del Valle Aburrá, entidad administrativa de derecho público que asocia a los 10 municipios en un esquema

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

asociativo territorial que permite promover y liderar el impulso de estrategias de desarrollo eficaces y de procesos regionales sólidos a partir de la gobernanza. A continuación, se detalla el desarrollo de cada objetivo específico con su respectivo diseño metodológico.

Tabla 1. Diseño metodológico: Estudio de gestión de residuos en el Valle de Aburrá

Descripción	Justificación
Enfoque de investigación	El enfoque de este objetivo es cualitativo, ya que se realizó un estudio de contenido de la gestión actual de residuos sólidos que se da en el Valle de Aburrá.
Rol de la teoría	Es un rol inductivo ya que se pretende hallar resultados con las premisas e información encontrada en el medio, experimental y teóricamente.
Estrategia de investigación	Estudio de la gestión de residuos sólidos para analizar el comportamiento de un hogar promedio en el Valle de Aburrá
Muestra	El tamaño de la muestra se define por medio de un sólo hogar conformado en promedio por 4 personas.
Unidad de análisis	Plan de gestión para el manejo integral de residuos sólidos
Variable o categoría	Como categoría se pretende analizar la administración de los residuos sólidos, analizando variables como: cantidad de residuos que llegan al relleno sanitario, capacidad límite del relleno, vida útil restante de este y políticas planteadas.
Modelo	El modelo que se quiere analizar parte del sistema actual de gestión de residuos sólidos. (Figura 6)
Recolección de datos	Por medio de contenido en fuentes especializadas en el tema
Análisis de resultados	Evaluación de escenarios y políticas

Fuente: Elaboración propia.

Para el primer objetivo, el estudio de la gestión de residuos sólidos en el Vallé de Aburrá se desarrolló tanto por medio de entrevistas personales como vía e-mail entre las autoras

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

y la empresa Emvarias, Empresa Varias de Medellín del grupo EPM, encargada de la prestación del servicio público. Allí se tuvo contacto con Cesar Augusto Chica, encargado del área de disposición final en la compañía. Las preguntas fueron en términos generales del nivel en toneladas del relleno sanitario “La Pradera”, su capacidad máxima, el promedio de vida útil y la cantidad de residuos que llegan al lugar; a esto respondió en cifras y fueron tomadas para la simulación del modelo dinámico.

Seguido, se investigó acerca del PGIRS (Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos), documento que guía el plan de gestión integral de residuos sólidos, pues el manejo integral de los residuos es hoy, una política pública que implica una administración adecuada encaminada al cuidado del medio ambiente. En el Valle de Aburrá la gestión es administrada por Emvarias, regida en su proceso por tres ejes:

1. Servicios público ordinarios y especiales de aseo.
2. Servicio de manejo, recolección, tratamiento, transporte, disposición final y aprovechamiento de residuos ordinarios, especiales, industriales y peligrosos dentro y fuera del territorio nacional.
3. Comercialización de toda clase de productos, bienes o servicios en beneficio o interés de los usuarios de los servicios públicos domiciliario.

Al igual que las etapas de gestión plantadas por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental de Perú, se estableció muy similar por normatividad las del Valle de Aburrá.



Figura 6. Ciclo de manejo de residuos sólidos establecido por la OEFA

Tabla 2. Diseño metodológico: Análisis procesos de implementación de modelos de economía circular en la literatura a nivel internacional y local.

Descripción	Justificación
Enfoque de investigación	El enfoque de este objetivo es cualitativo, ya que se realizó un estudio del concepto de economía circular aplicada en un contexto nacional e internacional.
Rol de la teoría	Es un rol inductivo ya que se pretende concluir hallar resultados con las premisas e información encontrada en el medio, experimental y teóricamente.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Estrategia de investigación	Estudio de la economía circular para analizar el comportamiento de un hogar promedio en el Valle de Aburrá.
Unidad de análisis	Concepto de economía circular
Variable o categoría	Como categoría se pretende analizar la teoría de economía circular aplicada. Analizando variables como: tratamiento y otros usos de residuos sólidos, tasa de tratamiento, cantidad de residuos aprovechables
Modelo	El modelo para analizar es el planteado por fases del ciclo de vida de los productos. (Figura 3)
Recolección de datos	Por medio de fuentes especializadas en el tema a nivel nacional e internacional
Análisis de resultados	Implementación de modelos de economía circular para analizar el tratamiento y otros usos de residuos aprovechables.

Fuente: Elaboración propia.

Para el segundo objetivo, la revisión de literatura se enfocó en la búsqueda de modelos de economía circular que se hayan planteado a nivel local e internacional. Encontrando que en el continente europeo han logrado establecer un marco de medidas a largo plazo a fin de convertir la Unión Europea en una “economía circular”, fundamentada en la reutilización de residuos. Es la mayor acción que se ha tomado a nivel mundial, donde pasa el concepto de este modelo de ser una teoría económica a ser una política pública que intercepta aspectos fuera de lo económico, sociales y ambientales.

El tratamiento y otros usos de residuos aprovechables, en la literatura se trata como la operación principal de convertir los desechos en recursos, lo que obliga a que en un futuro los productos estén diseñados para ser “deconstruidos”. Por esto, el procedimiento en la simulación (*capítulo 3*), constó en aplicar las etapas de: materias primas, diseño, producción y reelaboración, distribución, consumo, utilización, reutilización, reparación, recogida y reciclado; un ciclo económico que se resume en generación de residuos, separación en la fuente, recogida en un centro de residuos aprovechables y un nivel que mide la acumulación de este en el modelo (Figura 5. Aplicación de economía circular al modelo dinámico de gestión de residuos sólidos.).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

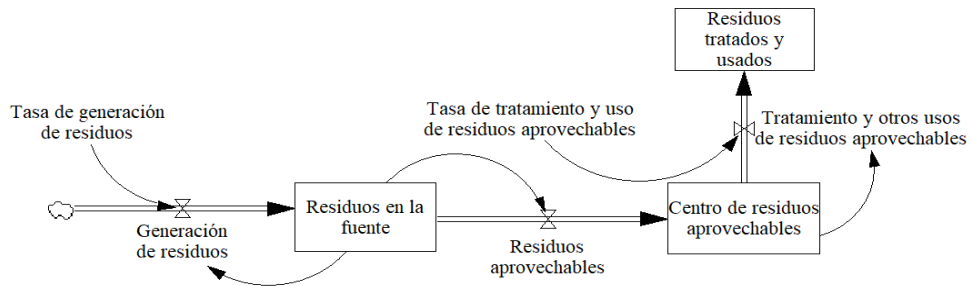


Figura 5. Aplicación de economía circular al modelo dinámico de gestión de residuos sólidos.

Tabla 3. Diseño metodológico: Desarrollo de un modelo de dinámica de sistemas para comparar procesos de implementación de economía circular.

Descripción	Justificación
Enfoque de investigación	EL enfoque para este objetivo es mixto, ya que se plantea la simulación por medio de ecuaciones matemáticas y su análisis es tanto cuantitativo como cualitativo.
Rol de la teoría	Es un rol deductivo porque se analiza los resultados basado en las simulaciones.
Estrategia de investigación	Planteamiento de políticas monetarias en la construcción del modelo.
Unidad de análisis	Dinámica de sistemas
Variable o categoría	Como categoría se pretende analizar los resultados de la modelación. Analizando variables como: tratamiento y otros usos de residuos sólidos, tasa de tratamiento, cantidad de residuos aprovechables, entre otras.
Modelo	Se diseñó el modelo de dinámica de sistemas basado en la Figura 6.
Recolección de datos	Por medio de fuentes especializadas en el tema a nivel nacional e internacional
Análisis de resultados	Método de comparación entre escenarios, análisis de gráficas y tablas.

Fuente: Elaboración propia.

Para el tercer objetivo, el desarrollo del modelo dinámico, se encontró que otros autores utilizaron dinámica de sistemas para simular la gestión de residuos sólidos. Utilizaron programas como Stella© y Vensim©, seleccionando para el desarrollo de este trabajo Vensim©, ya que es una herramienta que ofrece simular, analizar y optimizar diagramas

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

de Forrester. Se modificaron los valores iniciales en cada variable, las ecuaciones que las relacionaban entre ellas para finalmente simular los escenarios y analizarlos.

La técnica para el desarrollo de dinámica de sistemas fue articular el problema de estudio, luego se planteó una hipótesis dinámica, y se evaluó en estas políticas formuladas (Figura 6. **Metodología para implementación de procesos en dinámica de sistemas**).

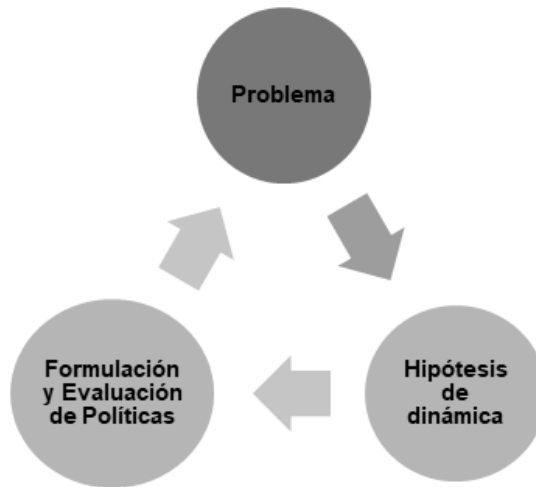


Figura 6. Metodología para implementación de procesos en dinámica de sistemas

3. MODELO

Descripción del modelo

En la Figura 6 se puede estimar el diagrama causal que expone los efectos de la relación entre los factores del sistema que construyen una compleja gestión de residuos sólidos. Esta influencia se considera positiva (+) si un aumento en un elemento provoca un aumento en otro, o negativa (-) si un aumento en un elemento causa una disminución en otro.

La generación de residuos sólidos influye directamente en la porción de residuos no aprovechables una vez la fuente por “conciencia” efectúe la separación en residuos aprovechables. Este factor conciencia se verá o no afectado por el planteamiento de una política de incentivos, determinando el comportamiento del nivel de residuos aprovechables en un centro destinado para ello. El tratamiento y uso que se le dé, creará un modelo de economía circular, liberando a su vez, espacio en el relleno sanitario, y logrando prolongar la vida útil de este. A la fuente también le costará la cantidad de residuos no aprovechables, donde será sancionada por una política de cobro afectando la generación de residuos.

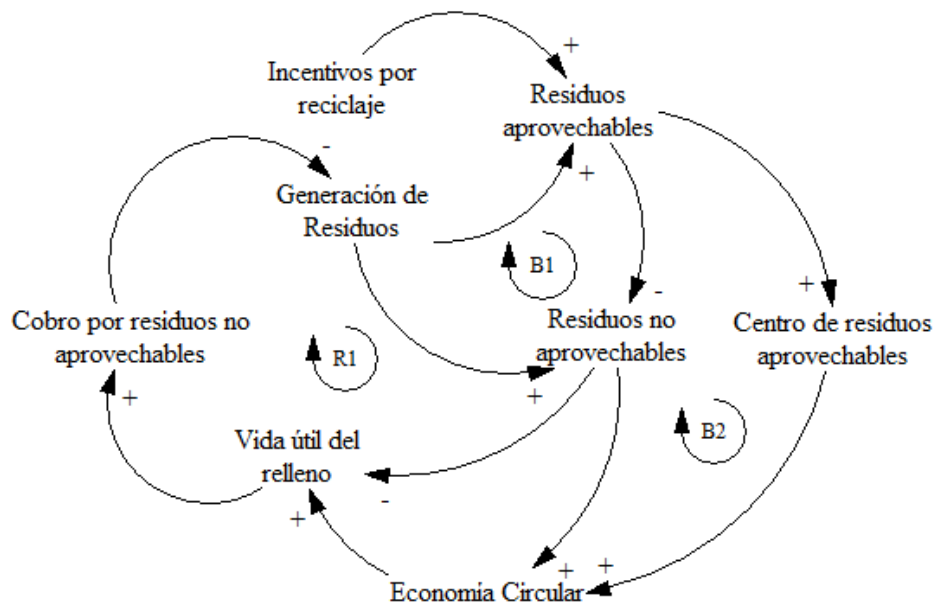


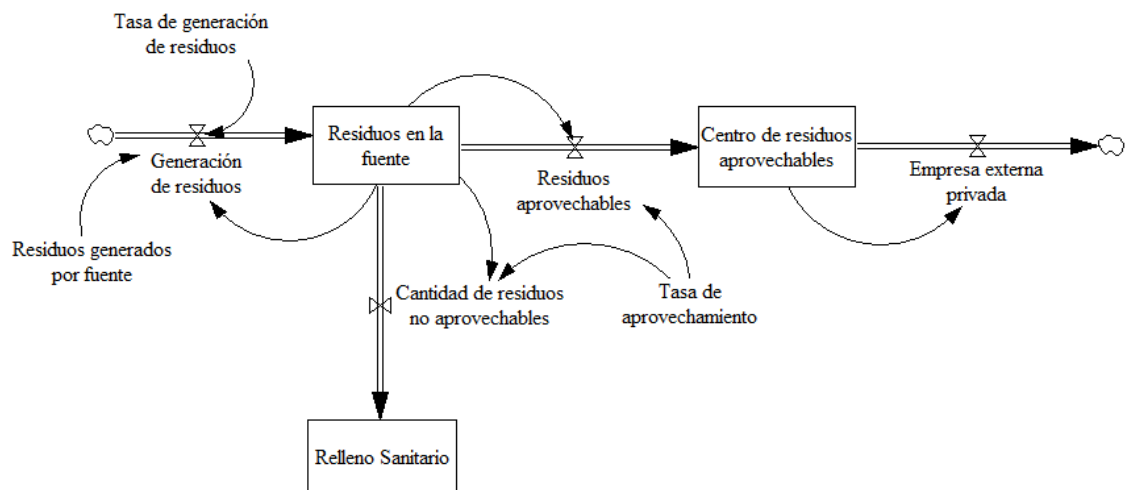
Figura 7. Diagrama Causal: Gestión de Residuos Sólidos

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

El punto de partida que dio paso a la construcción del modelo dinámico de gestión de residuos sólidos aplicando economía circular (Figura 13) es el modelo lineal que hoy se ejecuta en la planeación del Valle de Aburrá (Figura 8. **Diagrama de stock y flujo de la gestión lineal de residuos sólidos en el Valle de Aburrá**) secuenciado por: uso de recursos, producción, consumo y desecho de residuos; un esquema de gestión que en la actualidad se convierte ineficiente y aún más grave, insostenible en el tiempo. Los insumos son finitos y limitados para la demanda del crecimiento demográfico.

En la información preliminar arrojada por el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística se comunicó en el último censo nacional que el área metropolitana tiene 3'725.682 habitantes, con un crecimiento demográfico del 12% del año 2005 al 2018 (DANE, 2019). Este comportamiento afecta directamente la generación de residuos sólidos que cada hogar genera y por ende la cantidad existente. Este nivel de residuos está compuesto por un conjunto de materiales que se puede reciclar, medido en una tasa de reciclaje.

Los residuos que no se reciclan, es decir, la cantidad de basuras anuales se disponen finalmente en un botadero, en este caso, en el relleno sanitario la Pradera, Vaso Altair, ubicado a 57 kilómetros del centroide del municipio de Medellín, de una capacidad total de 8'506.439 toneladas (Noguera and Olivero-Verbel, 2010) y con una proyección de 14 años de capacidad volumétrica (Área Metropolitana del Valle de Aburrá et al., 2006). Según Santiago González Echeverry, jefe de disposición final del relleno, de Emvarias, “el tiempo de duración de La Pradera estará dado por la capacidad de los vasos y por la cantidad de residuos sólidos que ingresen (Emvarias, 2018). La superación de la capacidad límite hará que se solicite una nueva licitación para un nuevo relleno, lo que implica una inversión de aproximadamente \$21.000 millones de pesos.



La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Figura 8. Diagrama de stock y flujo de la gestión lineal de residuos sólidos en el Valle de Aburrá

Este modelo de economía lineal (producir-usar-tirar) (Figura 8. **Diagrama de stock y flujo de la gestión lineal de residuos sólidos en el Valle de Aburrá**) es un proceso que no permite a la naturaleza tomar de nuevo los residuos en recursos, sino que un mínimo porcentaje se utiliza como aprovechables y el resto de material en el relleno sanitario. Un tipo de economía que no asume desde su primera etapa la vida útil y reutilización de un producto, y que no consiente observar las consecuencias de los efectos de una variable a otra.

Los cambios planteados frente a la gestión actual, se rigen por un ciclo retroalimentativo, con el fin de que el modelo exprese que la administración de basuras puede y debe tratarse circularmente. Una vez la fuente reúna los residuos, estos se encargarán de seleccionar el material aprovechable, incentivados por una política de acuerdo a la tasa que logren recuperar (*Escenario 1. Incentivo a la fuente por acción de*). Este material llega a una caseta de aprovechamiento en el que la empresa pública medirá el acumulado que logre a lo largo del tiempo de la cantidad de residuos usados y tratados. El comportamiento de la fuente afectado por las políticas, permitirá que la cantidad de basura por año disminuya, liberándose así espacio en el vaso del relleno sanitario.

El modelo está integrado por variables que constantemente se están retroalimentando y accionando el comportamiento de un bucle. La caracterización de los agentes entre niveles y flujos, representan la interacción del sistema, generando puentes de información. Los niveles enseñan el estado de acumulación, donde se genera un stock diferenciado por la entrada y salida en el proceso, además proveen memoria; mientras que los flujos son la fuente dinámica y tienden a desequilibrar el modelo. En explicación matemática, el retardo se da por una integral de afluentes menos fugas por unidad de tiempo (Ecuación 1).

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..

La información de cada agente se precisa por ser exógena, es decir, depende de otros, o endógena, que recibe datos del entorno exterior. Las decisiones y los escenarios que se planteen como políticas se describen como flujos de información, contrario a los niveles y flujos que son flujos de material.

Como se mencionó a lo largo de la metodología, el modelo fue simulado por dos políticas (escenarios), para comparar el efecto de cada una sobre el comportamiento en la tasa de aprovechamiento, donde esta depende de la gestión existente. En cada escenario se define una hipótesis de efecto para establecer metas de gestión en el mediano y largo plazo.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Escenarios de políticas

Escenario 1. Incentivo a la fuente por acción de reciclar

Otorgamiento de un incentivo monetario a la fuente, por la tasa de aprovechamiento que logre realizar anualmente (

Figura 9. Política de incentivo a la fuente por acción de reciclar.). El cambio en el incentivo se formuló de acuerdo a la diferencia que se da entre la tasa objetivo de aprovechamiento que es establecida por las autoras y la tasa de aprovechamiento

(Ecuación 3) . Además, tiene un máximo como límite monetario que se puede conceder.

(Ecuación 2) $Cambio\ en\ el\ incentivo = Diferencia * Máximo\ en\ el\ cambio\ de\ incentivo$

(Ecuación 3) $Diferencia = (Tasa\ objetivo\ de\ aprovechamiento - Tasa\ de\ aprovechamiento)$

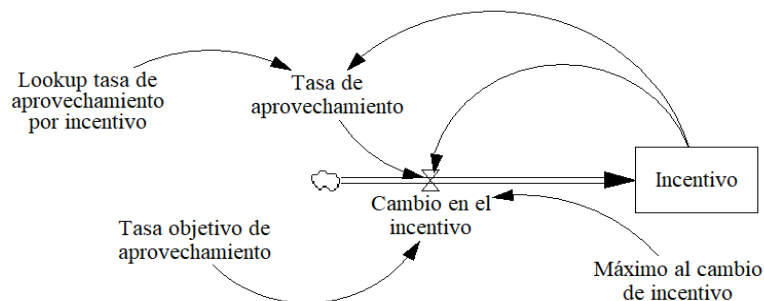


Figura 9. Política de incentivo a la fuente por acción de reciclar.

La hipótesis en el escenario es que el comportamiento de la fuente al recibir un incentivo toma una trayectoria en función logística (

Figura 10), que expresa que al otorgarse poco dinero implica un desanimo en la acción de aprovechar residuos, mientras que a mayor incentivo la reacción es de un aumento considerable en la tasa de aprovechamiento, hasta llegar a un máximo en el que no es necesario aumentar el incentivo, donde la cantidad aprovechable no representará cambios significativos.

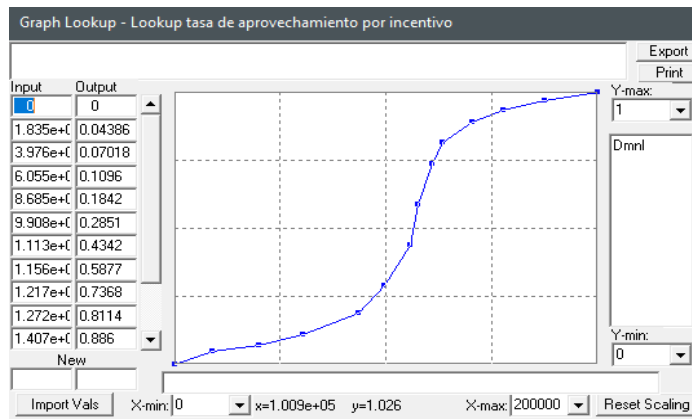


Figura 10. Lookup tasa de aprovechamiento por incentivo.

Escenario 2. Cobro a la fuente por tasa de aprovechamiento

Efecto del cobro a la fuente en la tasa de aprovechamiento (Figura 11). Respecto a la política de incentivo se mide igual en términos de ecuaciones. La diferencia radica en la hipótesis de que el efecto de un cobro tiene una pendiente diferente en la función logística (Figura 12).

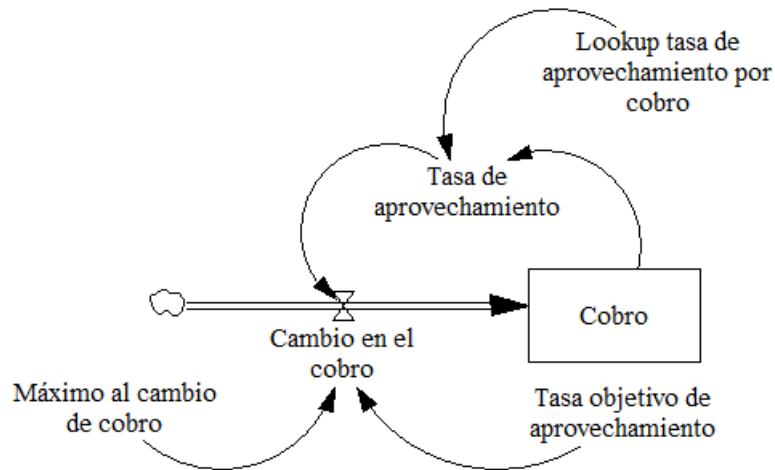


Figura 11. Política cobro a la fuente por tasa de aprovechamiento.

La pendiente se caracteriza por reaccionar a la tasa de aprovechamiento más rápido si se da un cobro contra un incentivo.

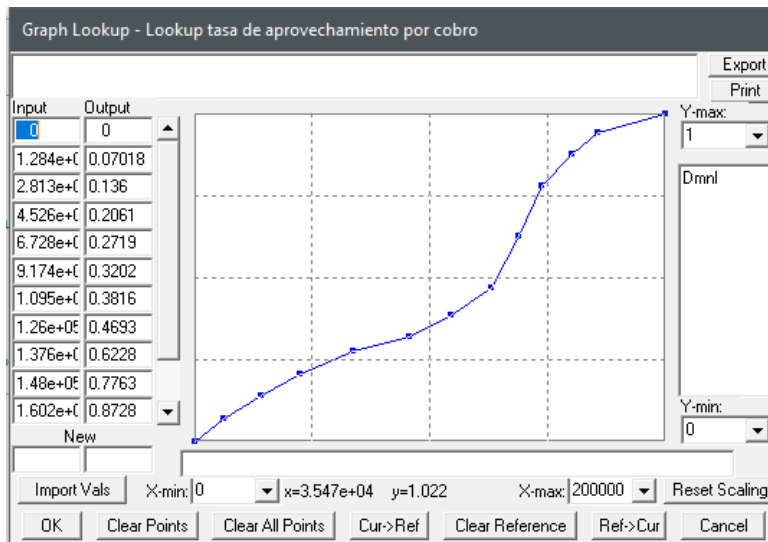


Figura 12. Lookup tasa de aprovechamiento por cobro.

La

Figura 13 enseña el modelo dinámico planteado, que simula la gestión de residuos sólidos en el Valle de Aburrá, medido en una fuente (hogar conformado en promedio por 4 personas). En el diagrama se observa como los escenarios de incentivo y cobro afecta la tasa de aprovechamiento, la cual influye en la cantidad de residuos aprovechables (Ecuación 4) y por ende en la cantidad de residuos no aprovechables (Ecuación 6). El propósito simula que la empresa encargada del servicio público de aseo reúna los residuos aprovechables de la fuente en un centro de recuperación (Ecuación 6), calculado por una tasa de tratamiento y uso (Ecuación 7) que se compara contra la generación de residuos. Las políticas hacen que se le dé disposición final al restante de residuos no aprovechados, el efecto está en si se libera espacio o rebosa la capacidad límite del vaso Altair en el relleno sanitario “La Pradera” que determina la vida útil en años de este.

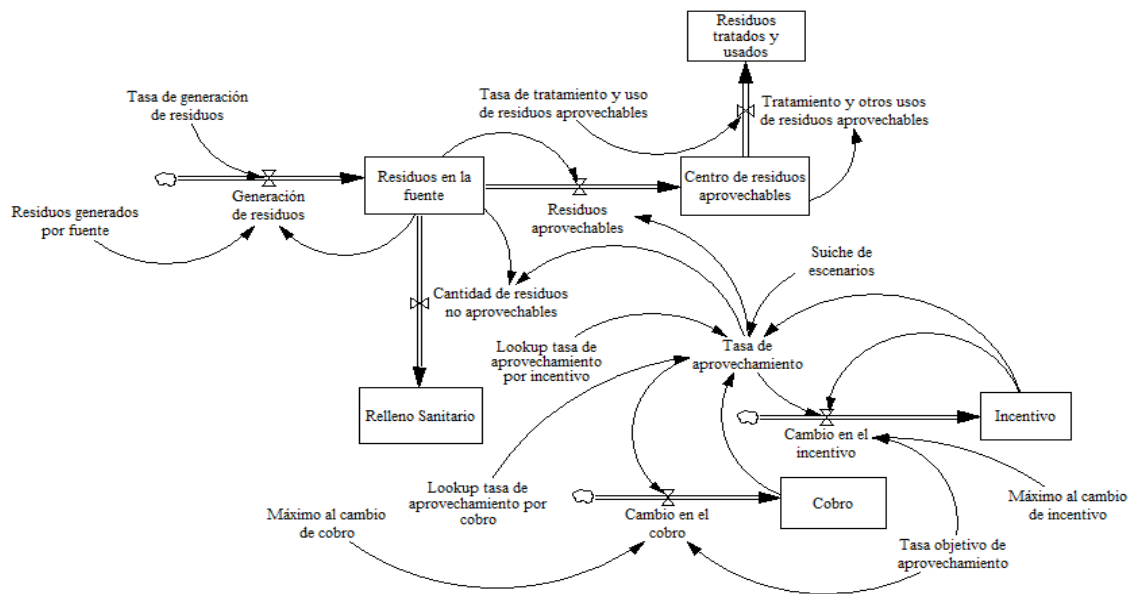


Figura 13. Diagrama de stock y flujo de la gestión circular de residuos sólidos. Planteada por las autoras para la gestión de los residuos sólidos en el Valle de Aburrá.

(Ecuación 4)

$$\text{Residuos aprovechables} = \text{Residuos en la fuente} * \text{Tasa de aprovechamiento}$$

(Ecuación 5)

$$\text{Centro de residuos aprovechables} = \int_{t_0}^t \text{Residuos aprovechables} - \text{Tratamiento y otros usos}$$

(Ecuación 6)

$$\text{Cantidad de residuos no aprovechables} = \text{Residuos en la fuente} * (1 - \text{Tasa de aprovechamiento})$$

(Ecuación 7)

$$\text{Tratamiento y otros usos} = \text{Centro de residuos aprovechables} * \text{Tasa de tratamiento y otros usos}$$

4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con los escenarios planteados se simularon posibilidades en el cambio al incentivo y al cobro, analizando a continuación su efecto en las demás variables. El comportamiento de los resultados en general fueron trayectorias tendenciales, ya que los residuos generados son una acumulación en el tiempo.

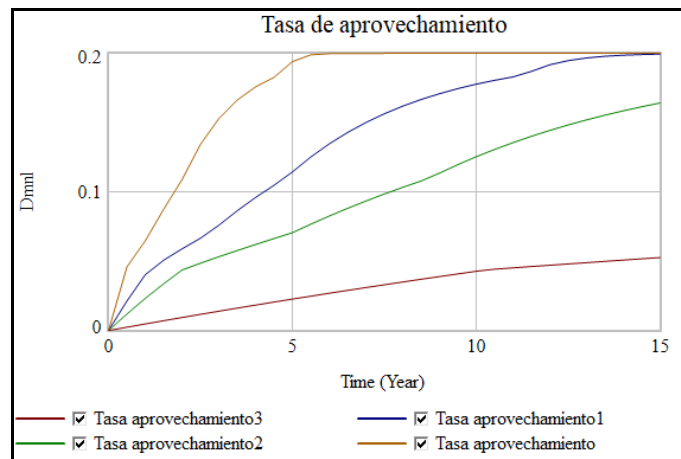


Figura 14. Tasa de aprovechamiento de acuerdo al nivel de incentivo

Activado el escenario de incentivo, si se establece un máximo de \$200.000 anual al cambio en el incentivo se logra en 5 años la máxima tasa de aprovechamiento, y partir de este no es necesario incrementar el incentivo, ya que siempre recuperará en residuos el 20%. Si de lo contrario, el incentivo se acumula en lo más mínimo, la tasa de aprovechamiento no llegaría ni a un objetivo del 10% en 15 años.

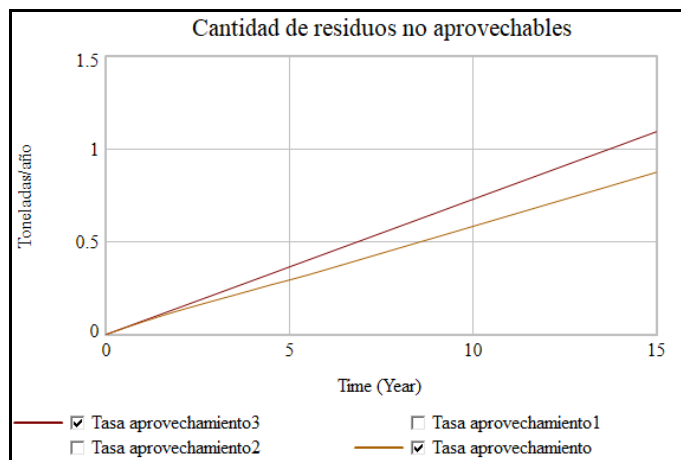


Figura 15. Cantidad de residuos no aprovechables afectada por incentivo

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Como se puede observar, la cantidad de residuos no aprovechables que finalizan en el relleno sanitario se ve afectada por la política de incentivo, donde la tasa de aprovechamiento es mínima si el máximo cambio en el incentivo es \$0 anual lo que hace que la cantidad de desechos aumente en el relleno. Efecto contrario si el máximo es \$200.000 pesos colombianos anuales, por tanto en 15 años la diferencia en el acumulado del vaso estaría alrededor de 0.04 toneladas.

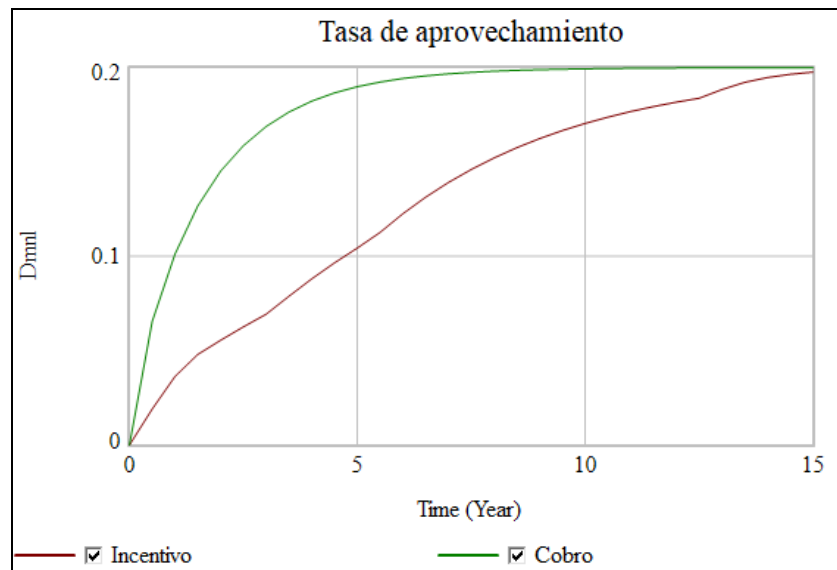


Figura 16. Cantidad de residuos no aprovechables afectada por incentivo

Comparando la tasa de aprovechamiento afectada por un escenario de incentivo y otro de cobro, se aprecia como el comportamiento de la fuente reacciona más ante del cobro, que ante el incentivo. El objetivo de implementar una política de cobro radica en generar conciencia y disminuir la cantidad de residuos no aprovechables que llegan al relleno sanitario.

Este efecto es el mismo que esta experimentando Colombia, con la política del impuesto al la bolsa plástica. “antes de iniciar la implementación del impuesto, un colombiano usaba en promedio entre 25 a 30 bolsas plásticas al mes y ahora esta cifra se estima en entre 15 y 18 unidades. La reducción de este consumo beneficia a Colombia en la disminución de la contaminación a los recursos naturales, la poca fluidez de gases de efecto invernadero y el incremento de la vida útil de los rellenos sanitarios” (Ministerio de Ambiente, 2018).

En la Figura 17 se enseña a nivel de barras el resultado de otro escenario. Allí se planteó las entradas en la Tabla 3. Para analizar los efectos de ambos escenarios, se introdujo los mismos valores para tasa objetivo de aprovechamiento y máximo cambio.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Tabla 3. Escenario de igualdades en ambas políticas.

	Política de incentivo	Política de cobro
Tasa objetivo	20%	20%
Máximo cambio	\$50.000	\$50.000

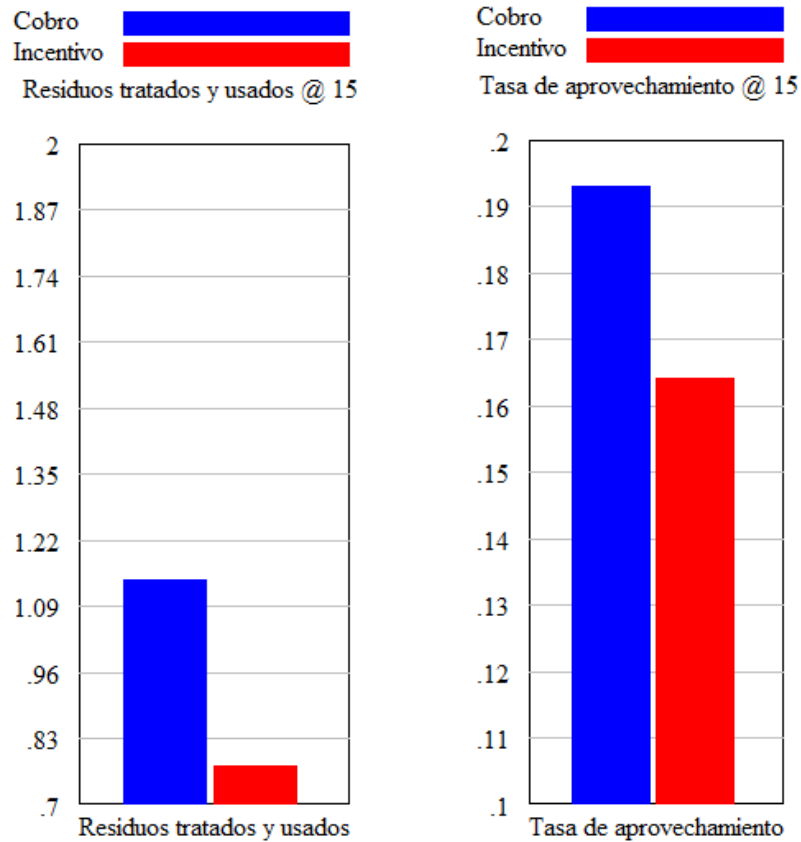


Figura 17. Escenario de igualdades en ambas políticas.

Con base en la igualdad de entradas a las variables de máximo al cambio y tasa objetivo de aprovechamiento, se presenta en la Figura 17 la comparación entre otorgar y cobrar dinero. Es más efectivo cumplir la tasa del 20% de aprovechamiento recaudando recursos económicos, además se lograría a lo largo del tiempo acumular mayor cantidad de residuos tratados y usados.

5. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

Durante el desarrollo de este trabajo se logró identificar que la dinámica de sistemas es la teoría fundamentada de la economía circular, ya que se estructura en un ciclo causal de retroalimentación. Se evidenció que el cambio de un sistema lineal a un sistema circular hace que las variables de este, afecte una a la otra, tomando cada variable la importancia de actuación en el ciclo.

Se concluye que los acercamientos que se tuvo con la empresa Emvarias®, permitieron conocer y definir el mundo real del manejo de residuos sólidos, todo un sistema que implica la cadena colaborativa de más de cien personas. Que los costos en la administración de todo el servicio de aseo son de gran magnitud y que falta mayor disposición tanto del estado como de las personas, en entender y actuar frente al daño ambiental que día a día va consumiendo el mundo. Es importante que este prestador de servicios públicos del Valle de Aburrá, establezca un plan de gestión de residuos sólidos óptimo para administrar de manera adecuada las 852.315 toneladas que se tiene previsto irán a disposición final para el año 2027, que actualmente está en aproximadamente 1'140.000 toneladas. De lo contrario, la vida útil del relleno sanitario, cumplirá su capacidad máxima, lo que implicaría la inversión en un nuevo vaso o relleno.

En cuanto a la economía circular, se logró identificar que el objetivo de un plan integral de manejo de residuos sólidos, no se debe enfocar en la cantidad de residuos que se acumulan en la fuente, por lo contrario, deben aplicar ciclos que admitan la reutilización de residuos aprovechables. Por tanto, esto hace que se mueva la economía en un bucle causal y no un sistema lineal. El desarrollo de este trabajo enseña que la dinámica de sistemas es una herramienta de simulación que admite modelar el complejo mundo real para analizar diferentes políticas aplicadas a la solución de un problema. Los resultados arrojados, manifiestan que las variables económicas influyen en el aumento de residuos aprovechables.

Petar Ostojic expresa que la economía circular busca replicar los ciclos biológicos de la naturaleza –donde no existen desechos- en los ciclos industriales, diseñando y fabricando productos que mantengan en valor de materiales y recursos durante el mayor tiempo posible, que sean fácilmente reparables y que sus materiales sean 100% reciclables (Ostojic, 2019). Por esto, se propone a la entidad encargada de la prestación del servicio de aseo, implementar herramientas de simulación que les permita analizar y estudiar los posibles futuros a los que se enfrentarían si ocurre tal escenario, estableciendo como prioridad una economía circular.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

REFERENCIAS

- Abdelkafi, N., Täuscher, K., 2016. Business Models for Sustainability From a System Dynamics Perspective. *Organ. Environ.* 29, 74–96. <https://doi.org/10.1177/1086026615592930>
- Alejandra, J., Barrera, B., Felipe, J., Galvis, H., León, C.H., 2016. Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos-PGIRS. Medellín.
- Alejandra, J., Barrera, B., Felipe, J., Galvis, H., León, C.H., 2015. SUPERVISIÓN ACTUALIZACIÓN PGIRS MUNICIPIO DE MEDELLÍN SECRETARÍA DE GESTIÓN Y CONTROL TERRITORIAL SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE SUPERVISORA María Patricia Molina Quintero APOYO TÉCNICO DE SUPERVISIÓN.
- Ambiente, S. del M., 2017. Secretaria del Medio Ambiente [WWW Document].
- André, F.J., 2006. Gestión de residuos sólidos urbanos: análisis económico y políticas públicas.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá, CORANTIOQUIA, Universidad de Antioquia - AINSA, 2006. Formulación del plan de gestión integral de residuos sólidos regional del Valle de Aburrá - PGIRS Regional: Diagnóstico.
- Asif, F., Economy, C., 2017. PhD course in Circular Economy and Industrial Systems , 7 . 5 ECTS 5–8.
- Banco mundial, 2012. What a Waster.
- Benavides, D., 2017. En Medellín reciclamos menos de lo que podemos [WWW Document]. 10 Junio.
- Boiten, V.J., Han, S.L., Tyler, D., 2017. Circular economy stakeholder perspectives: textile collection strategies to support material circularity. *Resyntex.eu*.
- Bundela, P.S., Gautam, S.P., Pandey, A.K., Awasthi, M.K., Sarsaiya, S., 2010. Municipal solid waste management in Indian cities- A review. *Int. J. Environ. Sci.* 28, 459–467.
- Bustamante, E.M.G., Moreno, C.E.B., Sierra, C.S., 2018. Social-demographic and health conditions in waste pickers in the city of Cartagena de Indias (Colombia). *Aglala* 9, 430–442. <https://doi.org/10.22519/22157360.1237>
- Consejo de Medellín, 2015. Estudio de caracterización de la alcaldía de Medellín.
- DANE, 2019. DANE [WWW Document]. URL <https://www.dane.gov.co/index.php/acerca-del-dane/informacion-institucional/generalidades>
- DANE, 2014. Encuesta Ambiental industrial IDEAM [WWW Document].
- Di Nola, M.F., Escapa, M., Ansah, J.P., 2018. Modelling solid waste management solutions: The case of Campania, Italy. *Waste Manag.* 78, 717–729. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.06.006>
- Díaz, J., 2014. Doce datos para apostar por una economía circular [WWW Document]. 26 Noviembre.
- Ding, Z., Yi, G., Tam, V.W.Y., Huang, T., 2016. A system dynamics-based environmental performance simulation of construction waste reduction management in China. *Waste*

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Manag. 51, 130–141. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.001>
- Dylson, Brian -Ni-Bin, C., 2005. Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling. *ELSEVIER* 11.
- Ellen MacArthur Foundation, 2019. Circular Economy [WWW Document]. ¿What is Circ. Econ. URL <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/what-is-the-circular-economy>
- Empresas Varias de Medellín, n.d. Manejo de residuos Sólidos. DNP.
- Emvarias, G.E., 2018. Emvarias [WWW Document]. URL <https://www.emvarias.com.co/>
- ESSEX COUNTY 2006 UPDATE, 2006.
- Frérot, A., 2014. Cuestión de Europa n°331 CUESTIÓN DE EUROPA.
- García, S., 2016. ECONOMÍA CIRCULAR: LA UNIÓN EUROPEA IMPULSA REFORMAS SOBRE LA BASE DE UN TEMA CRUCIAL, LA GESTIÓN DE RESIDUOS, CON EL FIN DE ALCANZAR MEJORAS ECONÓMICAS Y MEDIOAMBIENTALES. *Actual. Jurídica* 57, 11.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N.M.P., Hultink, E.J., 2017. The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *J. Clean. Prod.* <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Gobernación de Antioquia, Computing, C., Creative, L., Atribuci, C., Comercial-compartirigual, N., Ct, O., No, I., Computing, C., Prioritarios, P.D.E.P., Camara De Comercio De Medellín, Visión, U.N.A., Escenario, D.E.L., Rogério dos Santos Alves; Alex Soares de Souza, et all, DNP, D.N. de P., Hernández, C.M., Gutiérrez, L.P., Antioquia, G. De, Fernando, J., Martínez, E., Vargas Arteaga, E., Gobernación de Antioquia, Augura, Saavedra, E.N.Z., Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones, Humano, D.E.B.D.E.C., Yepes, T., Quintero, C.P., Antioquia, C.M. De, Bravo, P., Conpes, DNP, D.N. de P., MEN, M. de E.N., Camara De Comercio De Medellín, Cluster, E., Camara comercio Medellin, MinTIC, Data, B., Creative, L., Atribuci, C., Ct, O., No, I., Data, B., Corporación Ruta N, Creative, L., Atribuci, C., Compartirigual, N.-, Ct, O., No, I., Impact, T., Aquaculture, S., Fisheries, O.N., Environment, A., Atlantic, T., Deliveries, N.E.W., Growth, F.O.R., Wide-, W.B.E., To, B.D.U.E., Position, T.H.E., Is, T.H.E.R., For, C., Major, I.A.S.A., Hub, G., Of, T.H.E.S., Airlines, I.T.S., Airbus GMF, Cámara de comercio de Medellín para Antioquia, Diagnóstico, D.D.E., Destino, C.D.E.L., 2015. OBSERVATORIO CT + i. *Cons. Nac. Política Económica Y Soc.* 53, 34–55. <https://doi.org/https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/La%20politica%20generacin%20de%20ingresos/Cartilla%20Plan%20de%20Desarrollo%20Territorial.pdf>
- González, J.A., 2016. Residuos sólidos: problema, conceptos básicos y algunas estrategias de solución. *Rev. Gestión y Región* 101–119.
- Guerrero, L.A., Maas, G., Hogland, W., 2013. Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Manag.* 33, 220–232. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.008>
- Karavezirys, Vassilios- Timpe, Klaus Peter-Marzi, R., 2002. Application of system dynamics and fuzzy logic to forecasting of municipal solid waste. *Mathematics Comput. Simul.* 60, 10.
- Kollikkathara, N., Feng, H., Yu, D., 2010. A system dynamic modeling approach for

- evaluating municipal solid waste generation, landfill capacity and related cost management issues. *Waste Manag.* 30, 2194–2203. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.05.012>
- Korhonen, J., Honkasalo, A., Seppälä, J., 2018. Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecol. Econ.* 143, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>
- Koszevska, M., 2018. Circular Economy — Challenges for the textile and clothing industry. *Autex Res. J.* 11. <https://doi.org/https://doi.org/10.1515/aut-2018-0023>
- Lee, C.K.M., Ng, K.K.H., Kwong, C.K., Tay, S.T., 2019. A system dynamics model for evaluating food waste management in Hong Kong, China. *J. Mater. Cycles Waste Manag.* 21, 433–456. <https://doi.org/10.1007/s10163-018-0804-8>
- Macarthur, E., 2017. *ECONOMÍA CIRCULAR* [WWW Document].
- McKinsey & Company, 2014. *TowardsCircularEconomy_Report_2014* 64.
- Melguizo, A., 2007. *Moravia: lo que no se debe hacer* [WWW Document]. 5 Marzo.
- Mihelcic, J.R., Crittenden, J.C., Small, M.J., Shonnard, D.R., Hokanson, D.R., Zhang, Q., Chen, H., Sorby, S.A., James, V.U., Sutherland, J.W., Schnoor, J.L., 2003. *Sustainability Science and Engineering: The Emergence of a New Metadiscipline.* *Environ. Sci. Technol.* 37, 5314–5324. <https://doi.org/10.1021/es034605h>
- Morecroft, J.D.W., 2015. *STRATEGIC MODELLING and BUSINESS DYNAMICS A feedback systems approach Second Edition.*
- Morlán, S.C., 2010. *Modelo de Dinámica de Sistemas para la implantación de Tecnologías de la Información en la Gestión Estratégica Universitaria* [WWW Document]. Septiembre.
- Noguera, K., Olivero-Verbel, J., 2010. Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: Caso Colombiano. *Rev. la Acad. Colomb. Ciencias Exactas, Físicas y Nat.* 34, 347–356.
- OCDE, 2008. *La basura, un problema mundial - La Nación* [WWW Document]. 22 MAYO.
- Ortega, L.E., 2018. *Emergencia ambiental por colapso de basuras en el relleno sanitario de Bucaramanga - Noticias Caracol* [WWW Document]. 3 Oct.
- Ortiz, M.I., 2016. *En 2020, Antioquia podría tener una emergencia por rellenos sanitarios* [WWW Document]. 27 Diciembre.
- Ostojic, P., 2019. *Economía Circular* [WWW Document]. URL <https://www.petarostojic.cl/economia-circular-desarrollo/>
- Sandvik, I.M., 2017. *Applying circular economy to the fashion industry in Scandinavia through textile-to-textile recycling.*
- Schaffernicht, M., 2008. *Libro_DS_T1_inspeccion-2.*
- Song, Q., Li, J., Zeng, X., 2015. Minimizing the increasing solid waste through zero waste strategy. *J. Clean. Prod.* <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.027>
- Sterman, J.D., 2000. *Sterman_Business_dynamics.* <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601336>
- Sukholthaman, P., Sharp, A., 2016. A system dynamics model to evaluate effects of source separation of municipal solid waste management: A case of Bangkok, Thailand. *Waste Manag.* 52, 50–61. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.026>
- Superintendencia de Servicios Públicos, 2018. *Superintendencia de Servicios Públicos*

[WWW Document].

Superservicios, 2017. Superintendencia de servicios públicos domiciliarios [WWW Document]. URL <https://www.superservicios.gov.co/>

Vásquez, O., 2005. Modelo de simulación de gestión de residuos sólidos domiciliarios en la Región Metropolitana de Chile, Revista de Dinámica de Sistemas.

Velez, S.L.P., Mora, N.E., 2016. System dynamics model for the municipal solid waste management system in the metropolitan area of Medellín, Colombia. Int. J. Environ. Waste Manag. 18, 161. <https://doi.org/10.1504/ijewm.2016.080404>

World Bank, 2018. Informe 2018 [WWW Document].

Zapata Ospina, G., 2017. Medellín busca recuperar el 25 % de los residuos sólidos. 10 Noviembre 1.

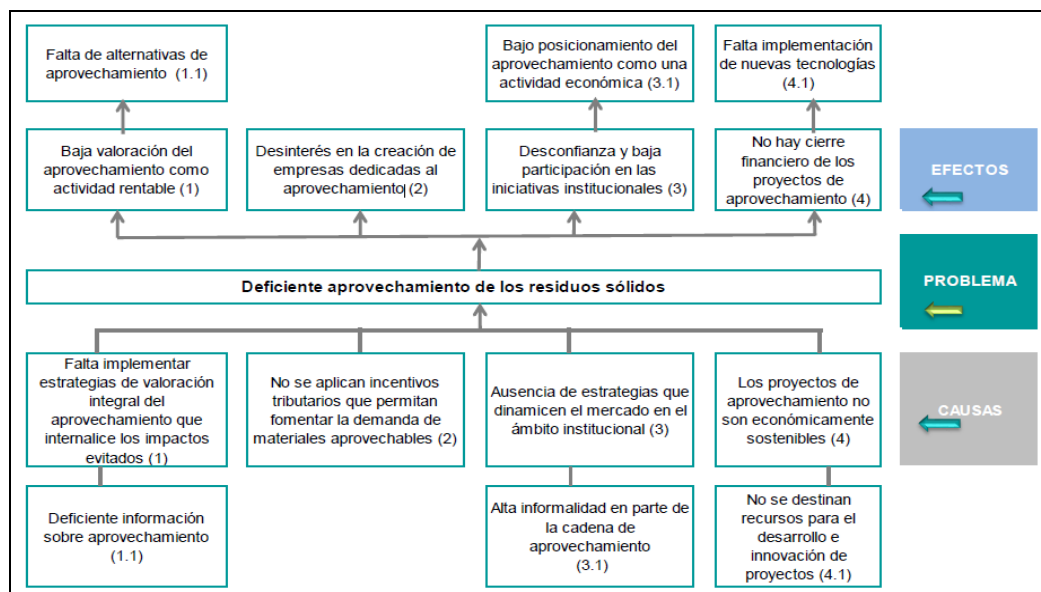
ANEXO 1

Anexo 1. Tabla 4 Regulación Gestión de Residuos Sólidos

Regulación	Fuente
Cobro de tarifa del servicio público de aseo	Información Tarifaria, Resolución CRA 151 de 2001, Resolución CRA 351 de 2005, Resolución CRA 352 de 2005, Resolución CRA 720 de 2015
Estratificación socioeconómica y se aplica para el cobro del servicio público de aseo.	Decreto 1491 Municipal de 1994. Acuerdo de Adopción estratificación urbana.
Normas expedidas por la Administración Municipal relacionado con la Gestión Integral de Residuos Sólidos.	Decreto 0636 de 2015, Acuerdo 21 de 2013, Acuerdo 44 de 2012, Acuerdo 23 de 2001, Acuerdo 42 de 2003, Decreto 226 de 2000 y Decreto 1491 de 1994.
Autorización ambiental del sitio de disposición final.	Resolución 5288 de Julio 3 de 2002-CORANTIOQUIA (Licencia Ambiental N° 5288 de Julio-03-02) y modificada por la Resolución 7998 y luego por la Resolución 040-1305-18185 de 2013

Anexo 2. Figura 18. Problema priorizado por el PGIRS

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Anexo 3. Tabla 5. Generación de residuos sólidos

(DANE, 2014).

Toneladas				
	Industrias	Hogares	Acumulación	Total
Oferta*	Residuos generados por las industrias	Residuos generados por el consumo final de los hogares	Residuos del desguace y demolición de activos producidos	Suministro total de residuos
2012	9.493.498	8.717.287	-	18.210.784
2013	10.704.337	8.607.685	-	19.312.021
2014p	12.205.314	8.899.138	-	21.104.452

Fuente: DANE, Encuesta Ambiental Industrial; IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales; Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios; DIAN, Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales.

Anexo 4. Estudio de caracterización de la Alcaldía de Medellín

Tabla 2. Estudio de caracterización de la Alcaldía de Medellín.

ESTRATO	GPC (Kg/hab/día)			
	2006	2009	2011	2015
1	0.32	0.34	0.44	0.37
2	0.29	0.37	0.47	0.41
3	0.42	0.42	0.52	0.43
4	0.45	0.52	0.6	0.53
5	0.55	0.7	0.74	0.65
6	0.69	0.99	0.88	0.81

(Fuente: Estudios de Caracterización de la Alcaldía de Medellín, UdeM, 2015)

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

(Consejo de Medellín, 2015)

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.