

**MODELO DE SIMULACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL POR DESECHOS EN
BUCARAMANGA Y SU AREA METROPOLITANA**

**JEREZ PEREZ FELIX SNEIDER
ABREO SERRANO ANDRES FELIPE**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERÍA DE SISTEMAS
PROYECTO DE GRADO I
BUCARAMANGA
2018**

**MODELO DE SIMULACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL POR DESECHOS EN
BUCARAMANGA Y SU AREA METROPOLITANA**

**JEREZ PEREZ FELIX SNEIDER
ABREO SERRANO ANDRES FELIPE**

**Anteproyecto de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero de
Sistemas**

**Director
Jorge Andrick Parra Valencia
Ph.D. in Engineering**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERÍA DE SISTEMAS
PROYECTO DE GRADO I
BUCARAMANGA
2018**

CONTENIDO

	Pág.
1. RESUMEN	5
2. INTRODUCCIÓN	6
3. PROBLEMA	7
4. OBJETIVOS	10
5. ESTADO DE ARTE	11
6. METODOLOGÍA.....	14
7. MARCO TEÓRICO.....	15
8. PRESUPUESTO	¡Error! Marcador no definido.
9. HIPÓTESIS DINÁMICA.....	17
10. SIMULACIÓN.....	21
11. RESULTADOS OBTENIDOS.....	26
12. ESCENARIOS.....	30
13. REFERENCIAS.....	40

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Árbol de problema.....	7
Figura 2. Hipótesis dinámica.....	17
Figura 3. Ciclo B1	18
Figura 4. Ciclo B2	19
Figura 5. Ciclo B3	20
Figura 6. Ciclo R.....	20
Figura 7. Modelo de forrester.....	21
Figura 8. Simulación de la problemática	26
Figura 9. Incidencia de los daños ambientales sobre las variables de vida	27
Figura 10. Población y desechos emitidos.....	28
Figura 11. Inadecuada ocupación del relleno	29
Figura 12. Ocupación del relleno con la capacidad aumentada.....	30

Figura 13. Variables de vida en escenario capacidad.....31
Figura 14. Comparación de nacimientos y los desechos producidos32

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estado de arte.....11
Tabla 2. Presupuesto..... **¡Error! Marcador no definido.**

1. RESUMEN

En este proyecto será presentada un modelo de simulación con sus respectivas políticas de mejoramiento para la afección concerniente al crecimiento de la población y los residuos generados por lo mismo dando lugar a la contaminación, esto es mostrado con la dinámica de sistemas. Haciendo uso del programa Vensim para el desarrollo de la simulación y la visualización del comportamiento.

2. INTRODUCCIÓN

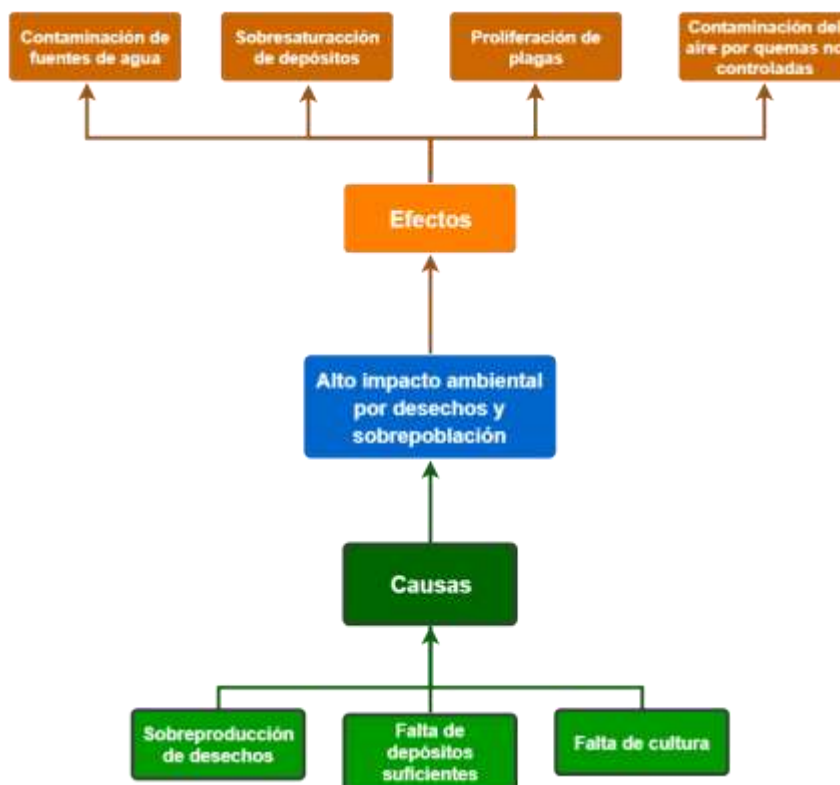
El efectos que tiene el calentamiento global es uno de los problemas que más ha trascendido en los últimos años, y en el impacto ambiental somos uno de los protagonistas principales, en el que hemos influido con las distintas obras, acciones y construcciones hechas de forma irresponsable.

Como relación relevante se puede deducir que entre más crecimiento haya de la población, más contaminación habrá como consecuencia de algunos parámetros y en este caso siendo los desechos uno de los grandes contaminantes del planeta.

Este tipo de situación es un problema complejo pues hay muchas variables que se interrelacionan, sin embargo el enfoque que se va tomar es la relación de la producción de desechos y la sobrepoblación por lo que se propone un modelo para comprender mejor el comportamiento que tendrá el impacto ambiental en la vida de los habitantes de Bucaramanga y su área metropolitana según los parámetros base.

3. PROBLEMA

Figura 1. Árbol de problema



Fuente: Propia

En Colombia se tiene información acerca del tratamiento final de residuos de 1088 municipios, que según SSPD (superintendencia de servicios públicos domiciliarios) producen aproximadamente “27.079 toneladas diarias de desechos, y también se informa que sólo el 69% tiene rellenos sanitarios o plantas para una administración adecuada con permisos ambientales, pero el 31% maneja los residuos de una manera inadecuada”(Ardila, 2016). En 2008 sólo hubieron 43 rellenos sanitarios de las regiones que brindan su servicio a 396 municipios y los municipios restantes no administran los residuos de una manera correcta pues su forma de tratamiento es en botaderos a cielo abierto, quemas y establecimiento de agua.

Según Johan Fernando Suárez Fajardo, director de la Facultad de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Pontificia Bolivariana, UPB, afirma que en el tiempo del no apoyo al reciclaje, es notable la mala administración del sitio de disposición final de residuos sólidos en El Carrasco; situación que viene presentando antecedentes documentados desde hace más de 15 años por parte de las autoridades competentes, evidenciados en advertencias, autos de cierre y declaraciones de emergencias sanitarias” y el Observatorio metropolitano asegura que el aprovechamiento de residuos es muy bajo en toda el AMB (Área metropolitana de Bucaramanga) pues “Bucaramanga registró un 2.4% con respecto al 20% que propone el Plan Nacional de Desarrollo”(Diario, 2018).

En el 2018 en Bucaramanga se tiene estimado que la cantidad de desechos aproximado por persona es de 366 kg de desechos al año. Esto es un considerable aumento del 28% en comparación con el año anterior (2017) que era del 286 kg de desechos por persona al año. Esto es un aumento considerable y el cual está causando problemas con los sitios destinados con el fin de almacenar dichos desechos. Actualmente el vertedero de la ciudad de Bucaramanga es el carrasco, el cual está diseñado para una disposición inferior de 219 kg por persona al año. Esto tiene un efecto negativo, debido a que se están ingresando 147 kg por persona al año más de lo planeado y lo cual genera una sobresaturación en dicho depósito.

Lo cual genera que se busquen sitios alternativos para dichos desechos y el cual causa mayores problemas con la comunidad tanto en el sector de salud y de higiene pública. También al generar acumulaciones de basura provocan muchos tipos de problemas como: focos de infección, proliferación de plagas y enfermedades gastrointestinales, respiratorias y micóticas (generadas por hongos), proliferación de mosquitos que transmiten el dengue clásico y dengue hemorrágico etc. Al no tener una cultura de reciclaje, esto genera una mayor carga debido a que muchos desechos pueden ser reciclados para así reducir el impacto, no se hace y esto genera que dichos desechos terminen contaminando nuestros en ríos, lagos y terminen en nuestros mares.

También es importante cuando hablamos de la contaminación en el aire que respiramos, una de las principales causas es la quema no controlada que genera dioxinas y furanos los cuales son tóxicos para el medio ambiente, lo cual hace que el aire no sea tan saludable como hace diez años y lo que es peor, hemos convertido casi a todo el país en un basurero, por donde vayamos vamos a ver vertederos de basura.

Cuando nos referimos al principal causante de dicho exceso de desechos el principal culpable es el poco interés de los ciudadanos cuando a la hora de reciclar o deshacerse de los desechos de una manera eficiente y amigable con el ambiente, la poca cultura del reciclaje es lo que genera esta sobrecarga a la naturaleza

4. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL:

Diseñar un modelo de simulación que explique el comportamiento y desarrollo de la contaminación basado en los desechos generados por la población de Bucaramanga y su área metropolitana para generar políticas de mejora.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Diseñar una hipótesis dinámica que explique el comportamiento de la problemática de los desechos en Bucaramanga.
2. Diseñar un modelo de simulación en el software de modelamiento profesional Vensim en el cual se puedan implementar alternativas para reducir el impacto ambiental en el área de Bucaramanga.
3. Simular escenarios que permitan evidenciar menor impacto de los desechos.
4. Evaluar el modelo utilizando técnicas clásicas del área.
5. Proponer políticas para la solución de la situación problema del sistema.

5. ESTADO DE ARTE

Tabla 1. Estado de arte

Título	Autor	Lugar y Año	Problema	Resultado	Utilidad
Application of System Dynamics for Municipal Waste Management in China: A Case Study of Beijing	L Cai, Y Liu	China, Beijing 2012	La inadecuada eliminación de residuos domésticos municipales causaría un gran daño ambiental.	Un modelo de gestión dinámica de residuos utilizando tecnología GIS	Ciclos de retroalimentación sobre los vertederos de desechos
Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling	Brian Dyson, Ni-Bin Chang	San Antonio, Texas (EE. UU.) 2004	Imprecisa predicción de generación de desechos sólidos por el rápido desarrollo de las regiones	Modelado de dinámica de sistemas para la predicción de la generación de residuos sólidos	Información sobre algunas tendencias que presentan las variables usadas
Wasted Paradise? Policies for Small Island Developing States to Manage the Tension between Tourism-Driven Economic Growth and Waste Generation. The Case of the Maldives	Kapmeier F, Gonçalves P.	Maldivas, 2018	Una errónea forma de administrar la economía derivada del turismo y la generación de desechos	Políticas para estabilizar la producción de desechos y beneficiarse del turismo	ciclos de retroalimentación para contrarrestar la sobrecarga de desechos
Modelo de simulación de gestión de residuos sólidos domiciliarios en la Región Metropolitana de Chile	Oscar Vásquez	Chile, 2005	Mala gestión de desechos por factores como, población, recolección y información	un modelo que integra población, condición socioeconómica, recolección de residuos, etc.	Datos y estructura del modelo a implementar
Modelo de regionalización para el manejo sostenible de los residuos sólidos municipales	Ing. Danny W. Ibarra V., MSc. Johan M. Redondo O., Esp. Carlos A. Peña R	Colombia, 2010	Mal manejo de los residuos en los municipios, esto al no tener un objetivo en concreto llegan a causar graves problemas para la población.	Modelo para la regionalización y manejo sostenible de los residuos sólidos municipales	Datos e información sobre algunos informes en relación con la temática
Case Study of K-12 program in South Korea - Applied by World Climate Focused on Environment Subject	Chung, Chang-Kwon with Ryeong Ji Park, Jinkyung Choi and Ji Won Son	South Korea, 2017	Preocupación global sobre el tema ambiental, entre la legitimidad de la educación ambiental y la falta de cultura	Un programa de educación ambiental enfocado en el pensamiento sistémico con Clima Mundial	Al ser un caso de cambio climático relacionado con la falta de cultura, sirve como detalles que influyen en las variables.
From Recoverers to Recycling Organization, Socio-Economic and Environmental Considerations on Residential Waste Management	Rodríguez, Luz- Angélica with Enrique Escalante, Lorena Reyes Rubiano	Colombia, 2017	Administración de políticas de gestión de residuos hacia un sistema sostenible	Modelo que muestra las diferentes políticas de gestión de residuos	Estructura de los escenarios modelados.
Análisis del impacto generado en un Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos por el aumento de los residuos asociados al crecimiento de la población a través de Dinámica de Sistemas	Silvia Lorena Ávila, María Stefany Nieto, Diana Carolina Jiménez, Juan Carlos Osorio	Colombia, 2011	Gestión del incremento de residuos derivado del crecimiento de la población	Modelo de comportamientos de la administración de residuos y la población	Estructura de ciclos de realimentación de población.
Dinámica de Sistemas aplicada a la triada: población, generación de residuos y calidad ambiental. Una perspectiva que integra: la Dinámica de Sistemas y los sistemas dinámicos	Javier Andrés Solano Rojas, Johan Manuel Redondo Ortigón	Colombia, 2010	Mal comportamiento de las tendencias sobre la población y su gestión con los residuos	Modelo para comprender el comportamiento de la población, los residuos y la calidad de vida	Ayuda en datos y ciclos de realimentación, pues el tema es muy relacionado

Fuente: Propia

En el estado de arte son mostrados los trabajos del 2005 en adelante, tratando de buscar los más relacionados con la temática elegida, estos trabajos fueron sacados de la Sociedad de Dinámica de Sistemas donde se pueden encontrar trabajos y artículos publicados en cada evento hecho por la organización, otros fueron recuperados de la Asociación Colombiana de Dinámica de sistemas, donde se encuentra las memorias de los Encuentros Colombianos y Congresos Latinoamericanos.

En vista del problema presentado por la sociedad acerca de la producción de residuos se han diseñado distintas metodologías y modelos con diferentes objetivos para comprender mejor el comportamiento de ciertas variables en el tiempo y estudiar sus tendencias para así encontrar políticas de solución a los problemas planteados.

En la búsqueda de proyectos similares se estudió un modelo de gestión de residuos sólidos asociado con el aumento de la población desarrollado por el grupo de trabajo (Silvia Lorena Ávila, María Stefany Nieto, Diana Carolina Jiménez, Juan Carlos Osorio) implementaron una relación interesante acerca de la contaminación en función de la calidad de vida, son unos datos que en nuestro proyecto serían una guía para realizar relaciones entre los datos de las enfermedades que provocan los residuos y el impacto en la calidad de vida de la población.

En 2010 Javier Solano y Johan Redondo crearon un diseño para explicar las tendencias que tenían la población en la calidad de vida de las personas y los residuos sólidos, en los que nosotros destacamos el proceso que utilizaron para deducir la relación de población y residuos en la calidad de vida.

Uno de los recientes proyectos mostrados en el año 2018 en la convención de dinámica de sistemas de Islandia, se presentó el proyecto de las Maldivas donde tratan de entender el comportamiento que tiene los turistas con respecto a medio ambiente, ellos explican de la gran afección que tienen las personas que llegan a las Maldivas y dañan el ambiente que en ella se encuentra, y basándonos en este proyecto sacamos algunas partes de sus estructuras de retroalimentación referidas a la población.

Basándonos en estos proyectos y teniendo como referencia algunas de sus partes para la creación de sus modelos, en este proyecto se enfocará a Bucaramanga y su área metropolitana, un caso de estudio aún no realizado con el detalle necesario sobre la afección de los desechos en la población de la ciudad y sus alrededores.

6. METODOLOGÍA

En un enfoque de la dinámica de sistema implica:

- Definir problemas dinámicamente, en términos de gráficos a lo largo del tiempo.
- Adoptar un punto de vista endógeno y conductual de las dinámicas significativas de un sistema.
- Pensar en todos los conceptos en el sistema real como cantidades continuas interconectadas en bucles de retroalimentación de información y causalidad circular.
- Identificar los acumuladores (stocks) independientes en el sistema y sus entradas y salidas (flujos).
- Formular un modelo de la estructura causal capaz de reproducir, por sí mismo, el problema dinámico bajo estudio.
- Derivar entendimientos e ideas de política aplicables del modelo resultante.
- Implementar cambios resultantes de comprensiones y entendimientos basados en el modelo.

Los modelos en Dinámica de Sistemas son herramientas que ayudan a la construcción de modelos de simulación por medio de ecuaciones diferenciales de primer orden, de carácter no lineal, que se resuelve mediante métodos numéricos (Forrester, 1961).

Entre algunas de las más importantes herramientas de simulación podemos encontrar Vensim y Powersim. En este proyecto usaremos la herramienta Vensim debido a que ya fue anteriormente trabajada y se consideró la más óptima para el desarrollo del problema planteado.

7. MARCO TEÓRICO

Dinámica de sistemas: La dinámica de sistemas es una herramienta que ayuda con la creación de modelos de simulación, estas técnicas pretenden determinar el comportamiento del sistema sin tener la necesidad de tener conocimientos muy profundos sobre el tema, pero sí ayudan a determinar por medio de los modelos situaciones a futuro según ciertos parámetros implementados.

En términos más específicos es una metodología para el análisis y control de sistemas de realimentación con una gran complejidad, una de las particularidades que se destacan en esta disciplina es el uso de un computador para la realización de modelos y simulaciones, lo que da la capacidad de experimentar los comportamientos y las ramificaciones que se obtienen con planteamiento del modelo en la simulación.

Estos modelos creados con la simulación ayudan aprender más sobre las políticas, las decisiones, la estructura como tal y o retrasos influyentes en la viabilidad o crecimiento de una acción sobre los parámetros del modelo.

Su uso en la actualidad está asentado en la planificación de diseños de políticas corporativas, modelos biológicos y médicos, temáticas de energía y medio ambiente, desglose de teorías en ciencias naturales y sociales, toma de decisiones y dinámica no lineal compleja (Santa Catalina, 2010).

Hipótesis dinámica: Las hipótesis se deben hacer en base a un análisis estructural, observando el cambio de ciertas variables a través de tiempo, mirar los patrones que se forman en ellos y probar con otros con el fin de que se asemejen a los ya planteados y ya siendo elaborada la hipótesis esta se usa para la definición de políticas para promover los comportamientos deseados en el problema.

Modelamiento de simulación: El modelamiento de simulación puede ser mostrado como una representación, bien sea abstracta, análoga o idealizada. Mediante el modelamiento lo que se busca es comprender mejor el problema, proceso o fenómeno que se esté investigando, esto claramente involucra un estudio anticipado para definir correctamente las partes de un sistema y sus relaciones. (UTADEO, 2013).

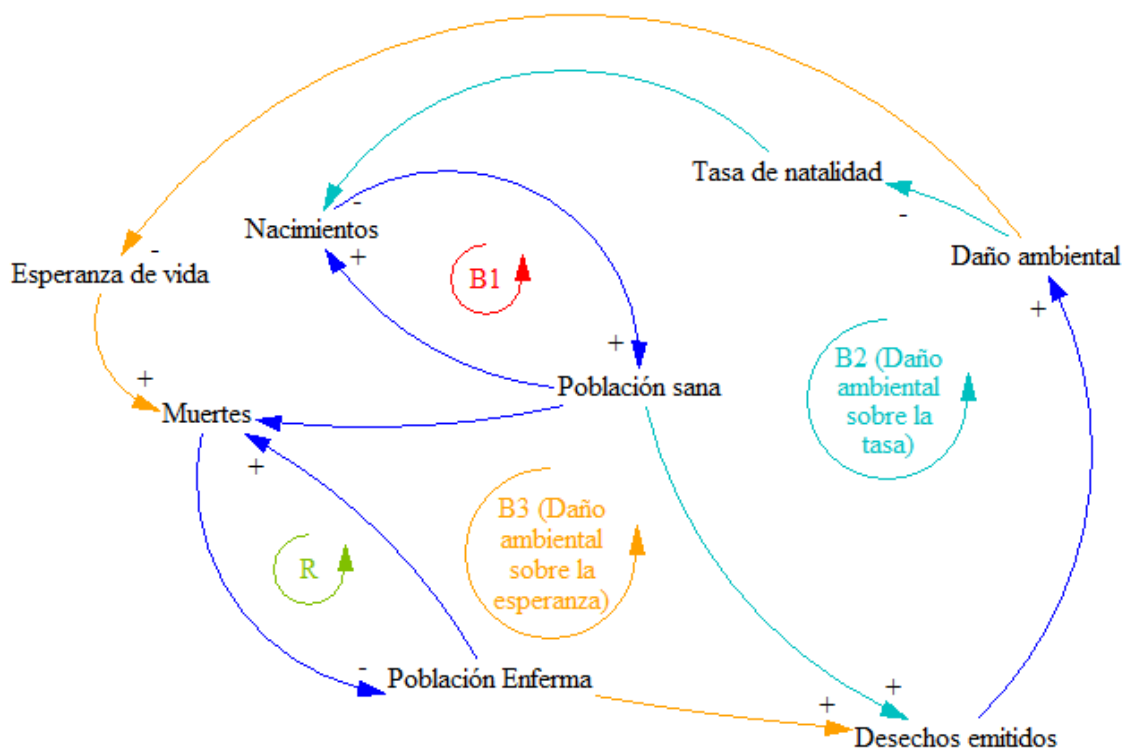
Desecho: Los desechos son desperdicios de las actividades humanas que gracias a la industrialización, su crecimiento es constante, otra definición dada por la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) son “aquellas materias generadas en las actividades de producción y consumo, que no han alcanzado un valor económico en el contexto en el que son producidas”

Políticas de mejora: estos términos en dinámica de sistemas, se refieren a las formas con las que se puede llegar a una solución en el problema, brindando resultados que normalmente se representan como una teoría o una solución al problema planteado, que su fin es idear escenarios que ayuden a la resolución de dicho problema.

8. HIPÓTESIS DINÁMICA

Para el desarrollo de la hipótesis se plantearon las variables principales según nuestro objetivo de investigación, se identificaron las posibles relaciones que podría tener el modelo causal, en esto se destacaron dos ciclos en el modelo, un ciclo de balance donde actúan la variable de la población que aumentan los desechos, estos a su vez aumentan el daño ambiental por la descomposición, los desechos disminuyen la esperanza de vida lo que hace que las personas vivan menos y por lo tanto se produzcan más muertes en un lapso mucho menor.

Figura 2. Hipótesis dinámica



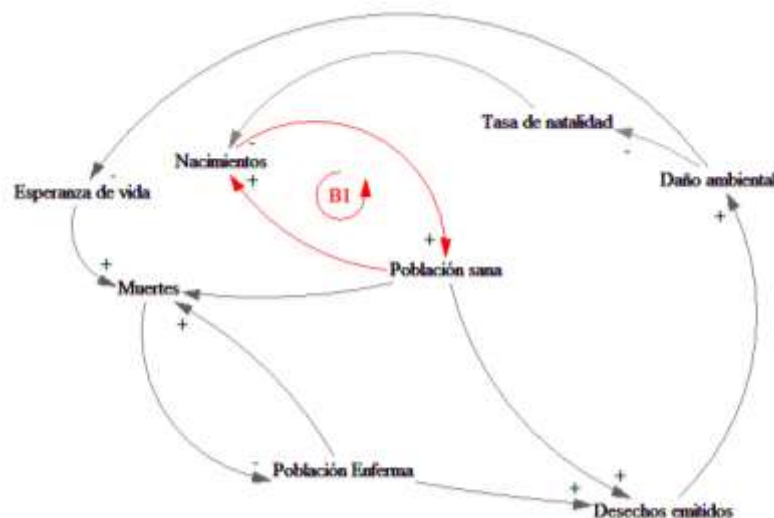
Fuente: Propia

8.1. Ciclos del problema

Ciclo B1 (nacimientos):

En este ciclo podemos ver la relación que hay entre nacimientos y población sana. Sabiendo que los nacimientos es la cantidad de personas que nacen en un tiempo determinado y la población sana es el número de personas que su estado de salud es bueno. Dicho ciclo se retroalimenta de manera positiva, debido a que a mayor cantidad de población sana mayor será la cantidad de nacimientos y ya que ambos generan un estado positivo este se define como ciclo de balance.

Figura 3. Ciclo B1



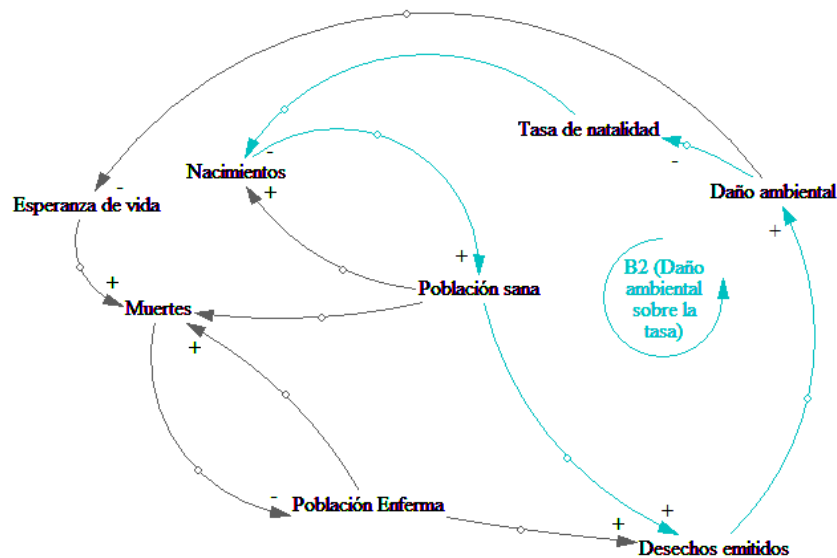
Fuente: Propia

Ciclo B2:

Dicho ciclo involucra las variables tasa de natalidad, nacimientos, población sana, desecho ambiental y daño ambiental. La población sana afecta de manera positiva a los desechos emitidos, debido a que a mayor población mayor será la cantidad de basura que se produce. Los desechos emitidos afectan de manera positiva al daño ambiental, entre mayor cantidad de desechos hallan mayor será el impacto que se afectara al medio ambiente.

El daño ambiental afecta de manera negativa a la tasa de natalidad, debido a que el medio ambiente afecta directamente la salud de las personas la tasa de natalidad disminuirá. La tasa de natalidad afecta de manera negativa a los nacimientos debido a que entre menor sea la tasa de natalidad menor será los nacimientos, de igual manera, si la tasa de natalidad aumente su relación se vuelve positiva debido a que incrementarían los nacimientos. Los nacimientos afectan de manera positiva a la población sana ya que cada vez que nace una persona la población aumentará y ya que al finalizar el transcurso de relaciones queda en estado positivo este se define como ciclo de balance.

Figura 4. Ciclo B2

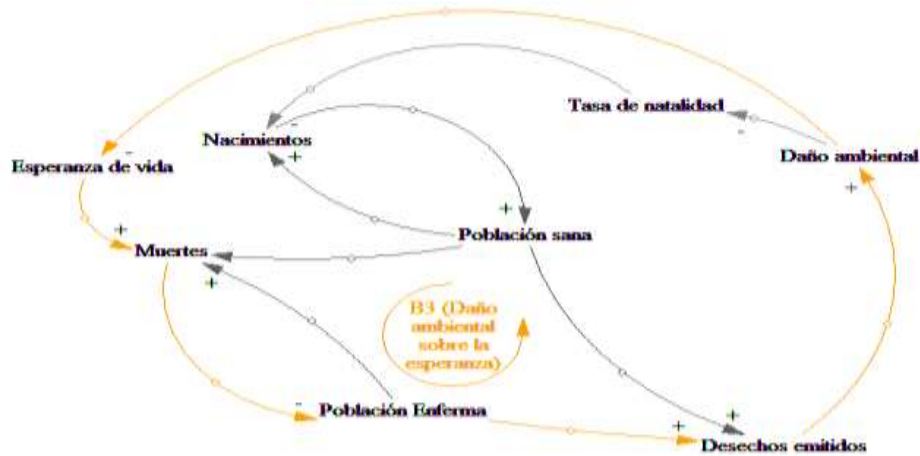


Fuente: Propia

Ciclo B3:

Este ciclo involucra las variables esperanza de vida, muertes, población enferma, desechos emitidos y daño ambiental. En este ciclo podemos observar los daños que causan al daño ambiente y sus consecuencias. Debido a que el medio ambiente está en mal estado la esperanza de vida disminuirá, por ende las muertes tendrán un aumento igual que la población enferma y dicha población igual seguirá produciendo desechos los cuales afectarán directamente el daño ambiental y cómo al final su estado queda positivo es un ciclo de balance.

Figura 5. Ciclo B3

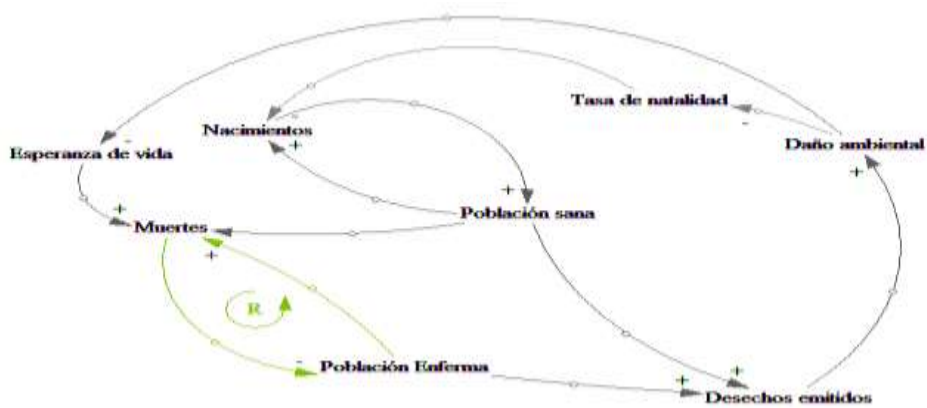


Fuente: Propia

Ciclo R:

En este ciclo podemos observar la mortalidad en la hipótesis debido a que relaciona las variables población enferma y muertes. La relación entre estas variables es debido a que a mayor cantidad de personas enfermas estén mayor cantidad será la tasa de mortalidad y por ende mayor cantidad de muertes; este ciclo después de su recorrido queda en estado negativo por lo que el ciclo se denomina de refuerzo.

Figura 6. Ciclo R

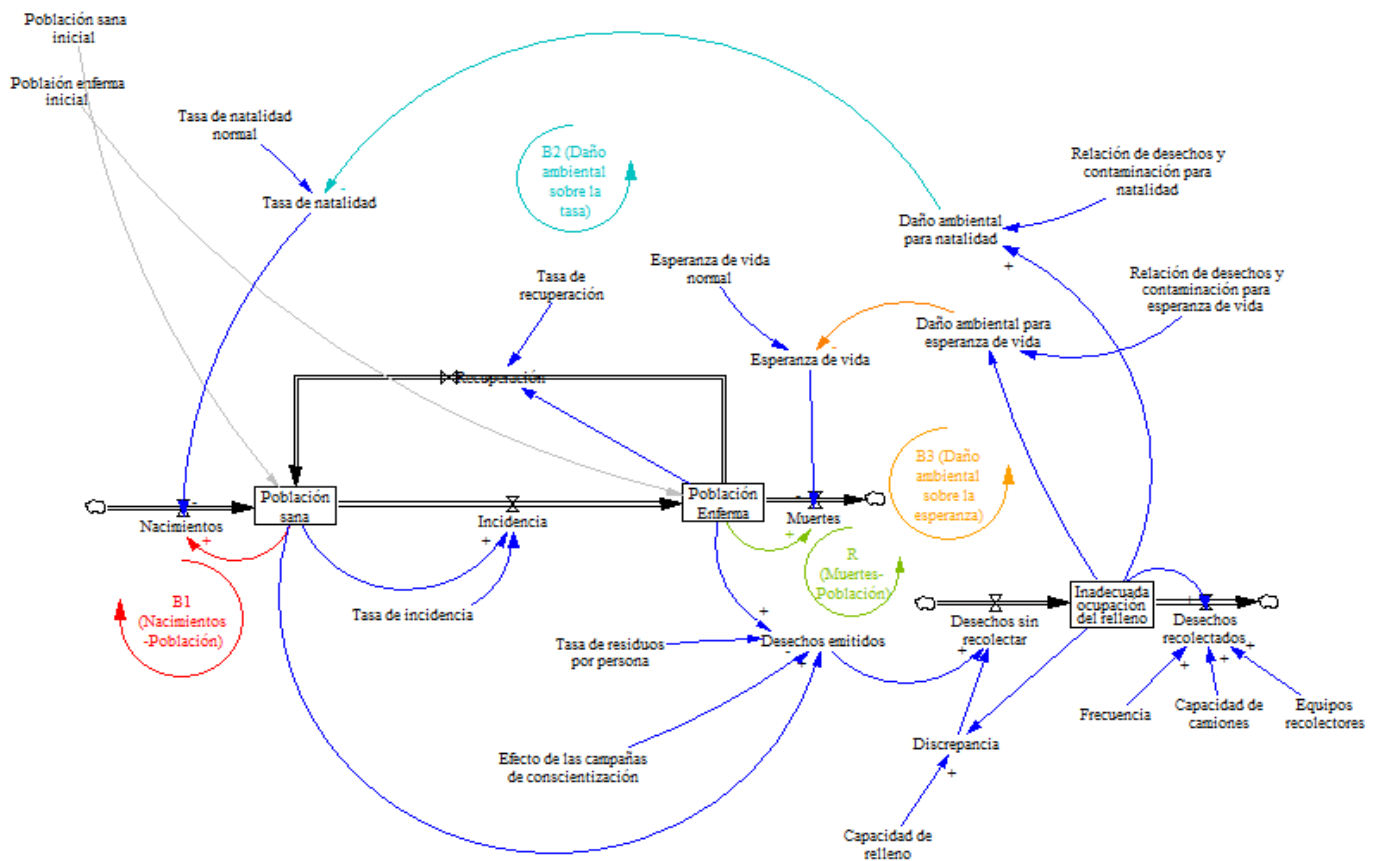


Fuente: Propia

9. SIMULACIÓN

En la siguiente imagen se expone un modelo que identifica las variables pertinentes que afectan y generan el problema principal en esta investigación, donde participan de forma principal la población y los desechos y de ellos se derivan sus demás componentes.

Figura 7. Modelo de forrester



Fuente: Propia

Variables de Flujo

- *Tasa de natalidad*: Porcentaje de personas que nacen en un tiempo determinado. Esta variable está influenciada por: tasa de natalidad normal y daño ambiental. Este dato fue sacado de FORMULACIÓN DE LA VISIÓN PROSPECTIVA DE SANTANDER 2019-2030

Tasa de natalidad: Tasa de natalidad normal-(daño ambiental*835e-05)

Unidades: 1/año

- *Nacimientos*: Es la cantidad de personas que nacen en un tiempo determinado. Esta variable está influenciada por: Población sana y tasa de natalidad.

Nacimientos: población sana*tasa de natalidad

Unidades: Personas/Año

- *Población sana*: Es el número de personas que su estado de salud es bueno. Esta variable está influenciada por: Nacimientos, recuperación e incidencia.

Población sana: Nacimientos+Recuperación-Incidencia

Unidades: Personas

- *Recuperación*: Es el proceso de una persona que mejora su estado de salud. Esta variable está influenciada por: Población enferma y tasa de recuperación.

Recuperación: Población enferma*Tasa de recuperación

Unidades: Personas/años

- *Incidencia*: Es el momento en el que una persona sana pasa a estar en un estado de salud enfermo. Esta variable está influenciada por: población sana y tasa de incidencia.

Incidencia: Población sana*Tasa de incidencia

Unidades: Personas/Año

- *Población enferma*: Es la cantidad de personas que tienen alguna complicación de salud. Esta variable está influenciada por: Incidencia, muertes y recuperación.

Población enferma: Incidencia-Muertes-Recuperación
 Unidades: Personas

- *Muertes*: Son la cantidad de personas fallecidas en un tiempo determinado ya sea por una enfermedad o por causa natural. Esta variable está influenciada por: Población enferma y esperanza de vida.

Muertes: Población Enferma/Esperanza de vida
 Unidades: Personas/Año

- *Esperanza de vida*: Es la duración aproximada que una persona tiene de vida. Esta variable está influenciada por: Esperanza de vida normal y daño ambiental. Este dato fue sacado de la Cámara de Comercio de Bucaramanga-Indicadores.2015-2020

Esperanza de vida: Esperanza de vida normal*(Daño ambiental*0.07)
 Unidades: Año

- *Daño ambiental para natalidad*: Alteraciones del ambiente producidas por los desechos incidiendo en la natalidad. Esta variable está influenciada por: Relación de desechos y contaminación e inadecuada ocupación del relleno.

Daño ambiental: Relación de desechos y contaminación para natalidad
 (Inadecuada ocupación del relleno)
 Unidades: c

- *Daño ambiental para esperanza de vida*. Esta variable está influenciada por: Relación de desechos y contaminación e inadecuada ocupación del relleno.

Daño ambiental: Relación de desechos y contaminación para esperanza de vida
 (Inadecuada ocupación del relleno)
 Unidades: c

- *Discrepancia*: Diferencia entre el relleno y la ocupación de relleno. Esta variable está influenciada por: capacidad de relleno e inadecuada ocupación del relleno.

Discrepancia: Capacidad de relleno-Inadecuada ocupación del relleno
 Unidades: c

- *Inadecuada ocupación del relleno*: Es el nivel en el que se encuentra la cantidad de desechos producidos. Esta variable está influenciada por: Desechos sin recolectar y desechos recolectados.

Inadecuada ocupación del relleno: Desechos sin recolectar-Desechos recolectados
 Unidades: c

- *Desechos recolectados*: Es la cantidad total de desechos recolectados. Esta variable está influenciada por: Inadecuada ocupación del relleno, capacidad camiones, equipos recolectores y frecuencia.

Desechos recolectados: Inadecuada ocupación del relleno/(Capacidad de camiones*Equipos recolectores*Frecuencia)
 Unidades: c/Año

- *Desechos sin recolectar*: Desechos que no llegan a su destino final y están en las calles. Esta variable está influenciada por: Desechos emitidos y discrepancia.

Desechos sin recolectar: Desechos emitidos/Discrepancia
 Unidades: c/Año

Variables auxiliares y constantes

- *Población sana inicial*: Población inicial que no tiene ningún tipo de complicación en su salud.
- *Población enferma inicial*: Numero inicial de personas con algún tipo de complicación en su salud.
- *Tasa de recuperación*: Promedio de posibilidades que una persona tiene para recuperarse.
- *Tasa de incidencia*: Probabilidad que tiene una persona de poder quedar enferma.

- *Tasa de residuos por persona:* Porcentaje de desechos hechos por una persona. Este dato fue sacado de PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS PGIRS 2016 – 2027
- *Tabla de desechos:* Porcentaje de desechos producidas por persona.
- *Capacidad de relleno:* Capacidad total que tiene dispuesto el relleno sanitario para albergar desechos.
- *Frecuencia:* Frecuencia de recolector de desechos.
- *Capacidad de camiones:* Capacidad de desechos por camión.
- *Equipos recolectores:* Capacidad total de camiones destinados para la recolección de desechos.

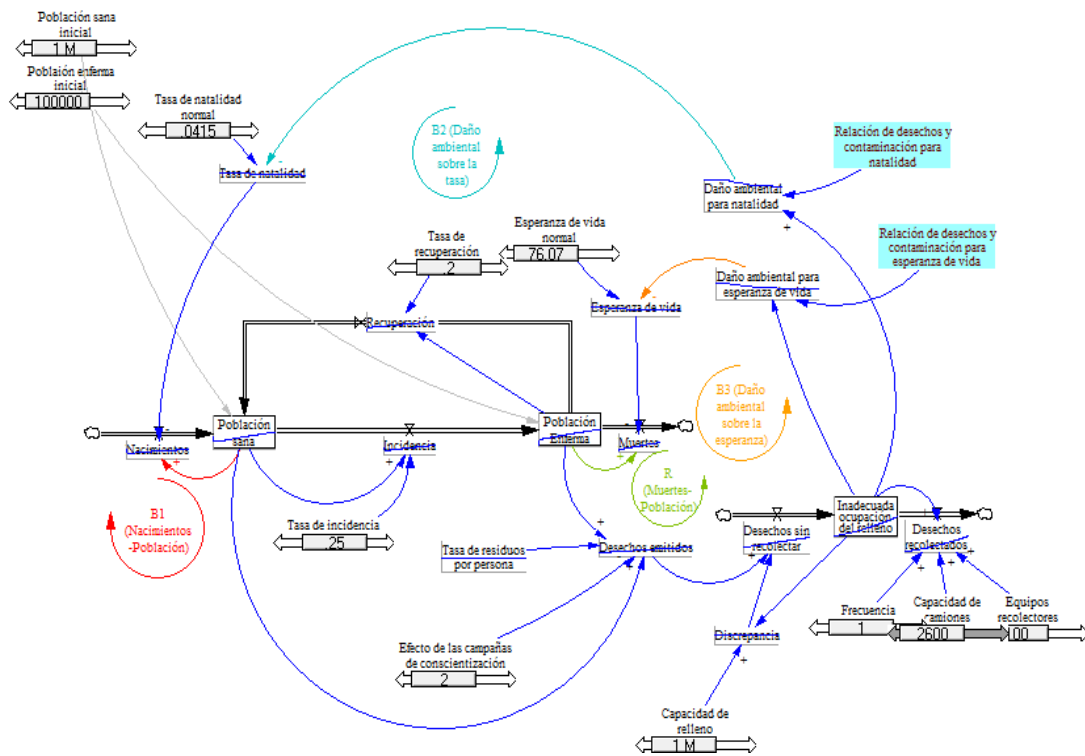
10. RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos en la investigación, según las simulaciones realizadas.

En la figura 4 se puede ver una simulación general de la problemática, de todo el modelo, dónde se ve un crecimiento de la población y a su vez de los desechos emitidos por la misma, lo que genera un aumento en la inadecuada ocupación del relleno sanitario el carrasco y esto produce enfermedades para la población como las dichas anteriormente focos de infección, proliferación de plagas y enfermedades gastrointestinales, respiratorias y nicóticas (generadas por hongos), proliferación de mosquitos que transmiten el dengue clásico y dengue hemorrágico etc.

Estas enfermedades son la causa de contagios y algunas muertes en la población; demostrándose así el problema de la sobresaturación de residuos dada por el crecimiento de la población.

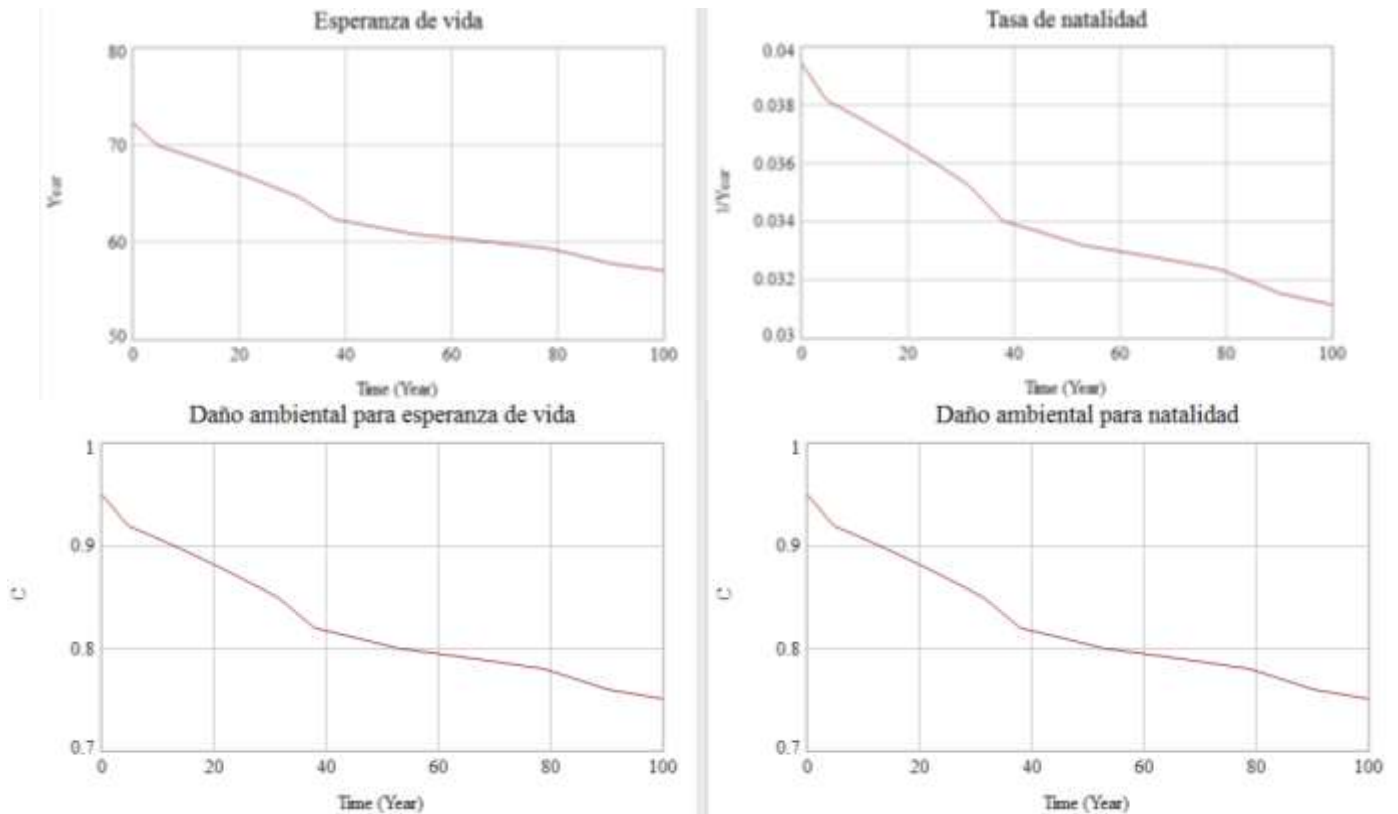
Figura 8. Simulación de la problemática



Fuente: Propia

El escenario simulado esta para un lapso de 100 años, mostrando cómo se desarrolla la contaminación del ambiente y cómo afecta esto a la esperanza de vida y a la tasa de natalidad.

Figura 9. Incidencia de los daños ambientales sobre las variables de vida



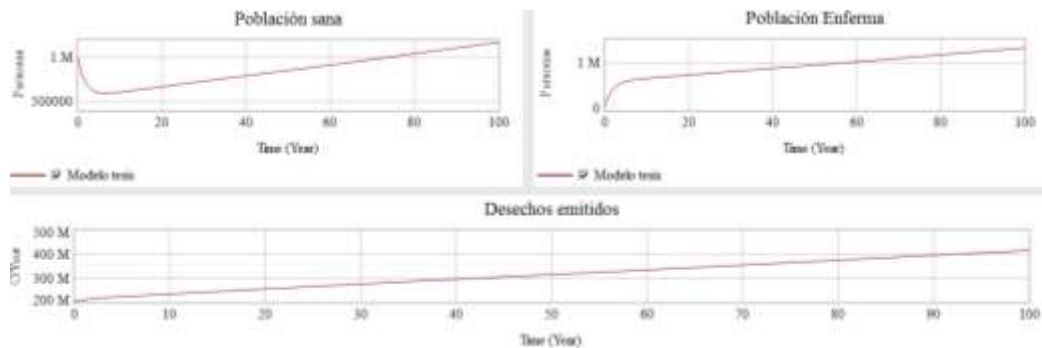
Fuente: propia

Se puede ver en la figura 5 como con el paso del tiempo la contaminación afecta ambas variables y hace que se reduzca la esperanza de vida hasta un aproximado de 10 años y la tasa de natalidad la reduce hasta un 0.8%, por lo que se puede decir que la contaminación tiene una afección notable sobre las variables de vida.

También se muestra en la figura 6 como hay un aumento poblacional en parte y parte siendo en su totalidad la suma de las personas que enferman y las personas que están sanas, se nota una pequeña curvatura entre ambas donde la población enferma se ve afectada por la cantidad de muertes ocurridas por los contagios y la cantidad de enfermos aumenta hasta estabilizarse en una secuencia exponencial.

Sin embargo aunque las enfermedades logran reproducirse a medida que pasa el tiempo también aumentan los desechos emitidos por el crecimiento poblacional y por esta razón la relación con el ciclo que cumplen de manera epidémica.

Figura 10. Población y desechos emitidos

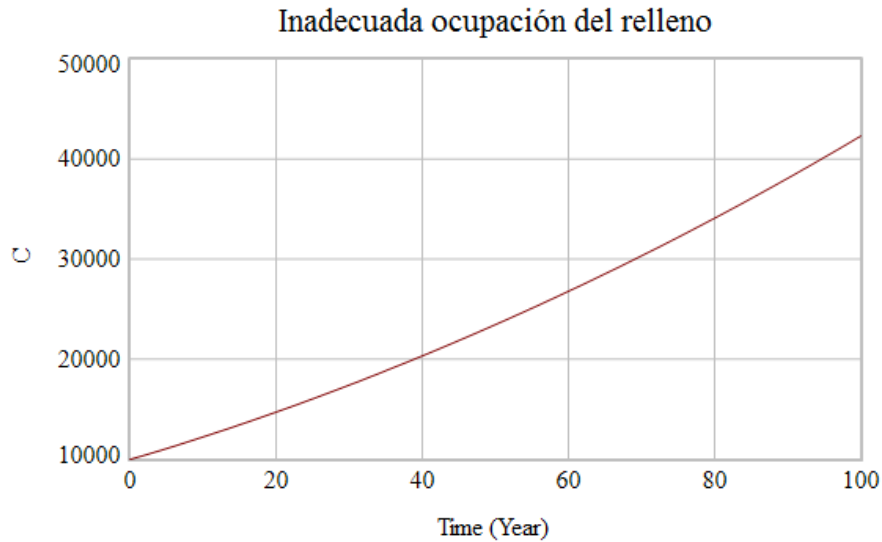


Fuente: propia

Hay un aumento ingente en los desechos que se emiten por parte de la población y en nuestro caso el principal contenedor de residuos que tenemos en Bucaramanga y para muchos de los lugares aledaños es el Carrasco que ya se ha determinado como inseguro y que su capacidad máxima está agotada, pero si no se encuentra un lugar donde se puede cambiar el destino las enfermedades serán más probables y las afecciones empezarán a hacerse más notables.

Esto también queda demostrado en el escenario de la problemática principal dónde se puede ver en la figura 7 cómo empieza subir la inadecuada ocupación de los contenedores de residuos o de la disposición de los mismos.

Figura 11. Inadecuada ocupación del relleno



Fuente: Propia

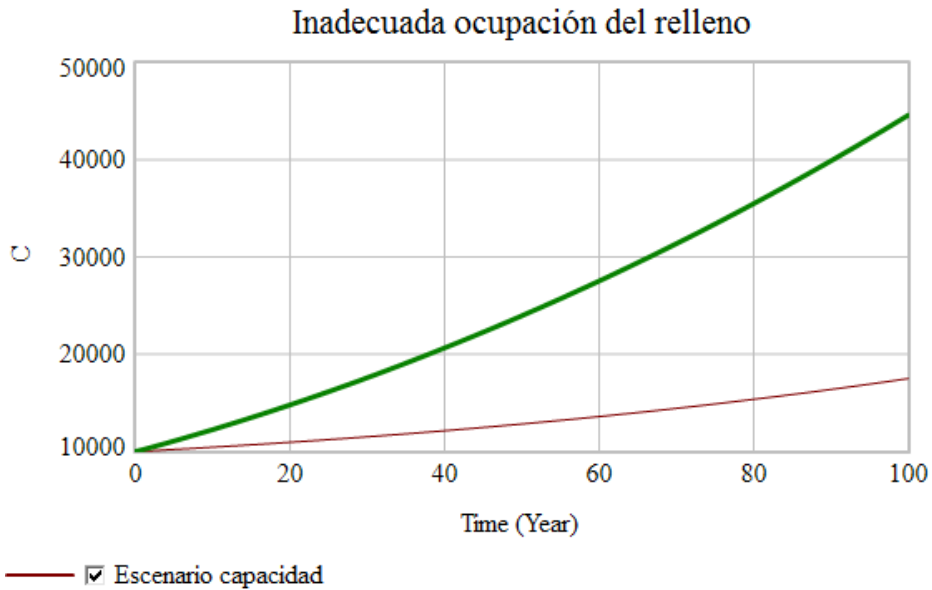
Este inadecuado destino también puede verse como la necesidad que hay de implementar algún otro lugar de disposición de la basura, para evitar seguir afectando a lugares cercanos del vertedero, y esto por problemas con su capacidad por las rupturas de las celdas en contenedores que hacen que se expandan olores desagradables, y una cantidad de focos infecciosos no sólo para los cercanos al lugar sino también afecta las fuentes hídricas por los lixiviados que producen este tipo de fallas.

11. ESCENARIOS

Uno de los problemas que se podrían llamar principales en esta área de estudio es la insuficiente capacidad del relleno, por lo que uno de los escenarios que se decidió probar para notar alguna mejoría en el problema fue aumentar la capacidad de disposición de los residuos.

Para lograr este objetivo se aumentó la capacidad de relleno en un 20% para ver como actuaban y progresaban las variables relacionadas; como se esperaba, hubo una gran mejoría en la disposición de la basura, ya sea que se haya transportado a otro vertedero diferente a las ya establecidas para este fin o suponiendo que se pudo hacer un mejor uso de las basuras con el fin de usarlas como reciclaje y así ampliar el uso de los vertederos principales.

Figura 12. Ocupación del relleno con la capacidad aumentada

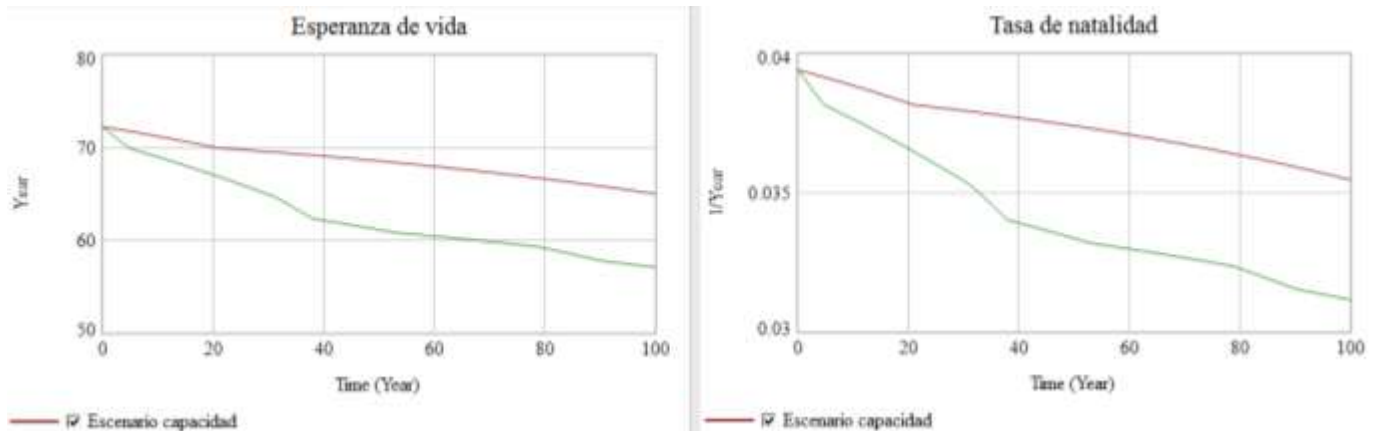


Fuente: Propia

En la figura número 8 se destaca la gran diferencia en los escenarios, siendo el de color verde el de la problemática principal y el de color verde el del escenario con la capacidad del vertedero aumentada un 20% o lo que también se puede comentar es de un vertedero con esa cantidad de espacio utilizado para ese fin.

Con este escenario se muestran varios cambios en los factores relacionados uno de ellos son las variables que determinan el curso de la vida de la población como es mostrada en la figura 9.

Figura 13. Variables de vida en escenario capacidad

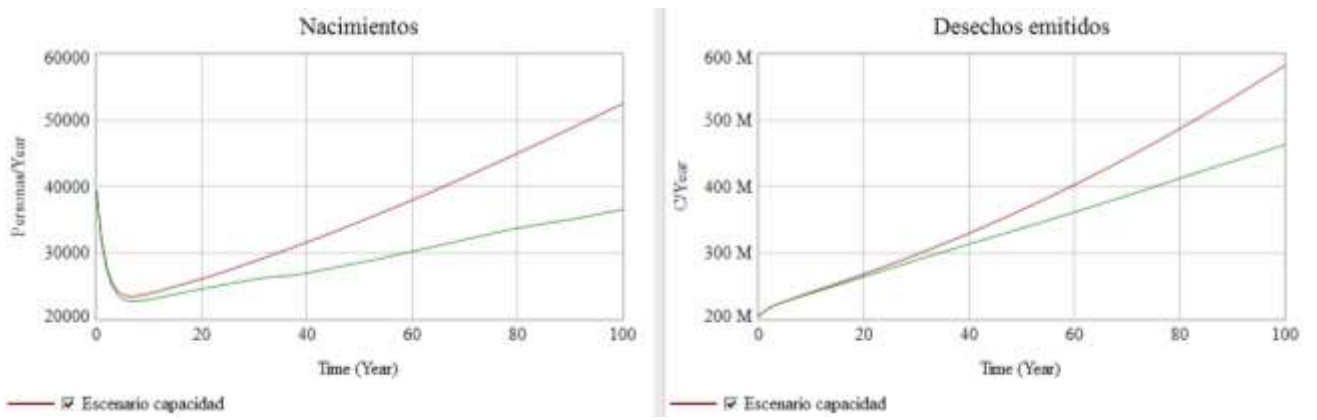


Fuente: Propia

Claro está que aunque ahora haya más espacio para el almacenamiento de residuos, no anula por completo el problema pues la contaminación como tal no depende sólo del vertedero, sino también de la proliferación de plagas que se estarían presentando en la población por lo que la pendiente o el transcurso de la línea continua siendo descendente en ambos casos.

Sin embargo los cambios no solamente son positivos, pues con menos muertes por las enfermedades significa nacimientos en aumento y estos implican más producción de residuos por parte de la población como se puede ver las tablas en la figura 10.

Figura 14. Comparación de nacimientos y los desechos producidos

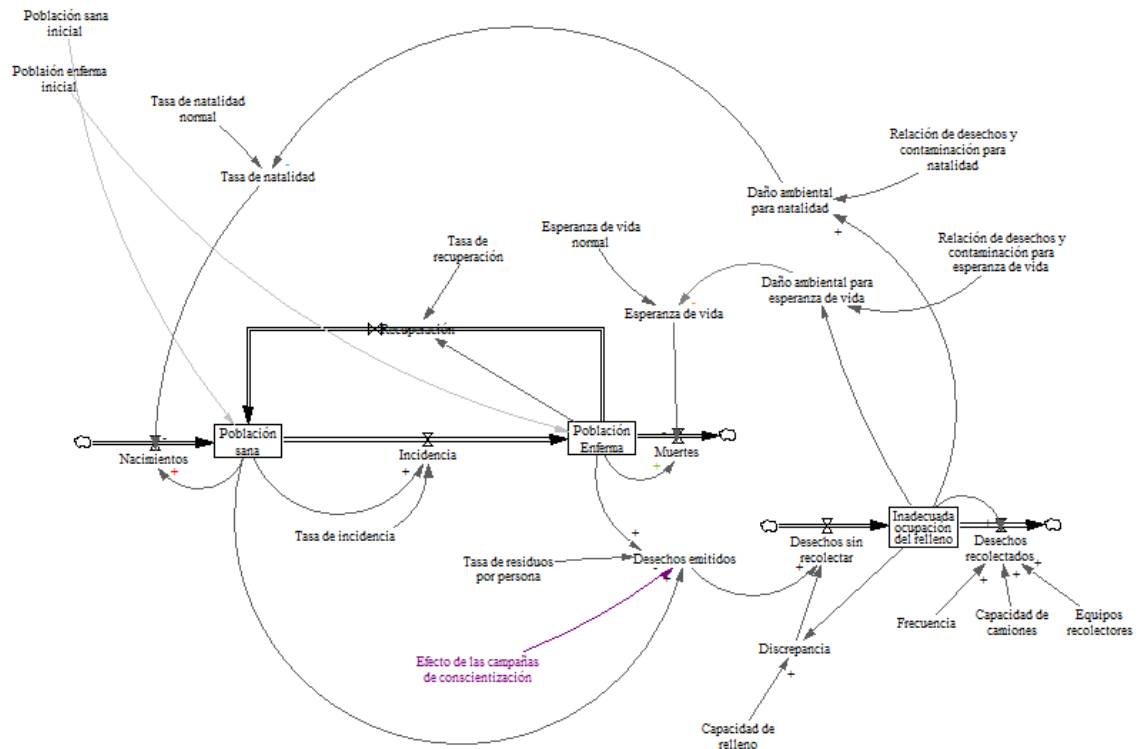


Fuente: Propia

12. POLITICAS PARA LA RESOLUCION DEL PROBLEMA

Para las políticas que se tienen como forma de solución al problema presentado, está como primera medida un aumento en las campañas de concientización

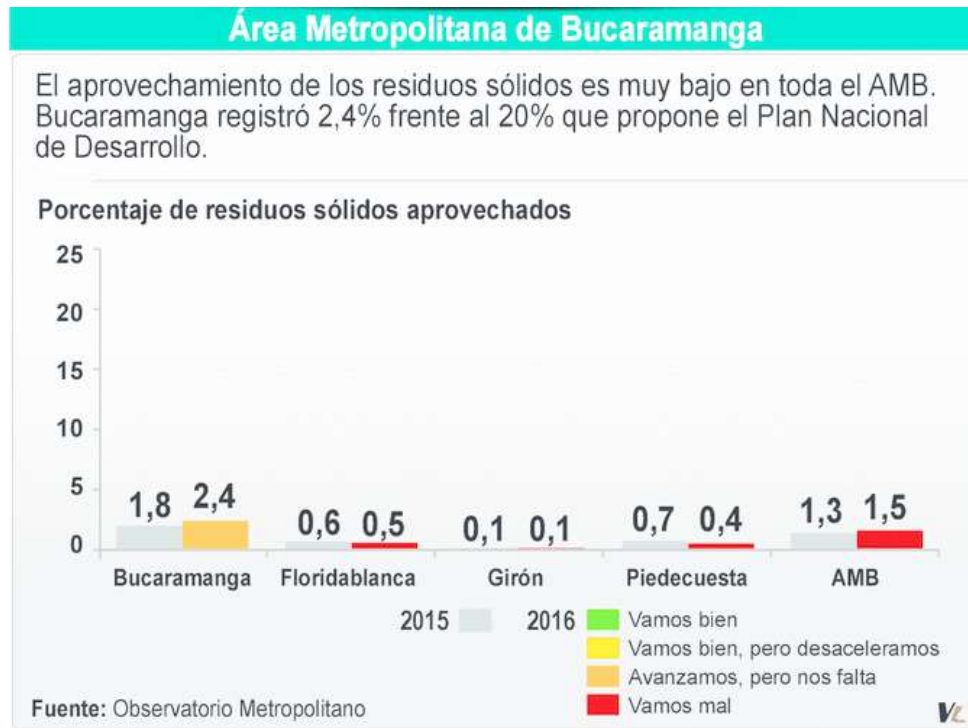
Figura 14. Problemática con lo que se considera una solución con campañas



Fuente: Propia

Como se puede ver en la figura 14, las campañas de concientización afectan de manera directa a los residuos, pues es bien sabido que en área metropolitana no se aprovechan los residuos como debería y esto es visto como causa de grandes toneladas de basura producidas por una sociedad que no se concientiza de lo necesario que es hacerlo.

Figura 15. Aprovechamiento de residuos

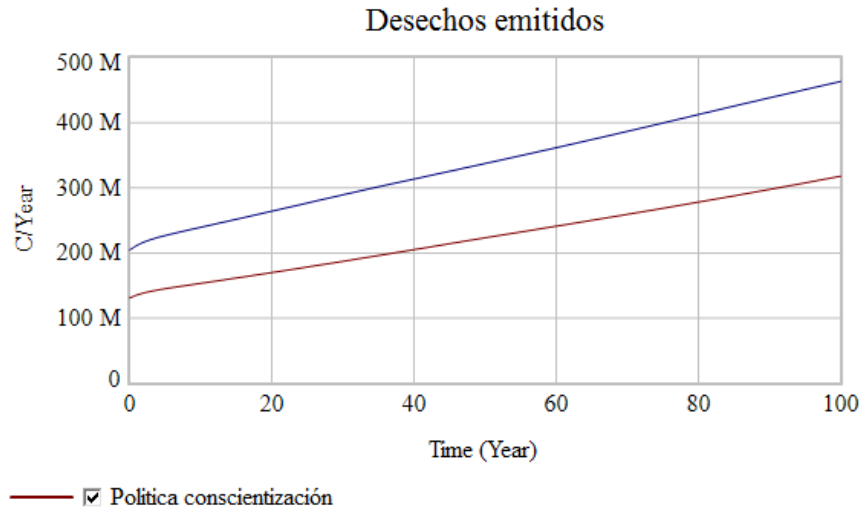


Fuente: Observatorio Metropolitano

Tal y como se muestra en la figura 15, según el plan nacional establecido se cumplen pocos valores para los que se debería, y una de las causas es restar importancia a estos temas, por lo tanto es necesario la divulgación de distintas maneras para comprender la complejidad del área por la que se está pasando.

En la figura 16 se puede ver como la insistencia en las campañas para los ciudadanos tienen grandes efectos positivos sobre la sociedad pues los desechos disminuyen notablemente siendo el problema original el color azul y el cambio en las campañas el rojo.

Figura 16. Desechos emitidos con las campañas en marcha

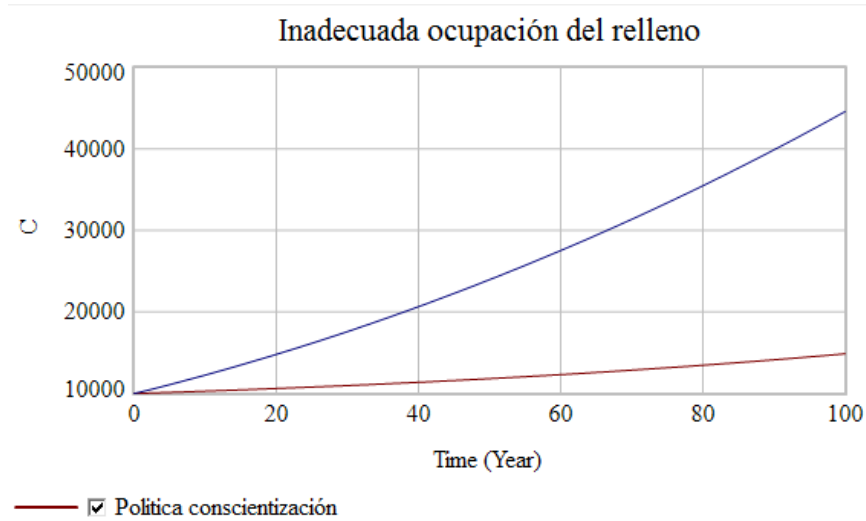


Fuente: Propia

Esto es algo bueno porque al actuar sobre los desechos se estaría reduciendo uno de los problemas más grandes de este asunto que es la inadecuada ocupación de los vertederos pues al no haber tantos desechos producidos y los desechos producidos reducidos, evita problemas que a futuro podrían ser fatales para los habitantes.

Como otra forma de solución está el abastecerse de un nuevo vertedero o de otro lugar donde se puedan deshacer de la basura, esa sería la solución principal al problema, pues muchos de los fallos técnicos con las celdas de contención, los malos olores, la dispersión de lixiviados, la producción de enfermedades y etc. Es por el mal uso que se le está dando a los vertederos, exigiendo una mayor capacidad a las que están dispuestas a soportar y como muestra de ello está la figura 16 con la reducción en el exceso de capacidad de los contenedores.

Figura 17. Exceso de rellenos comparado al problema original



Fuente: Propia

En la figura anterior se destaca la reducción dicha, y aunque la nueva adquisición de un vertedero no afecte directamente a la emisión de desechos, sí estabiliza la sobresaturación, problema principal de todas las consecuencias derivadas de este.

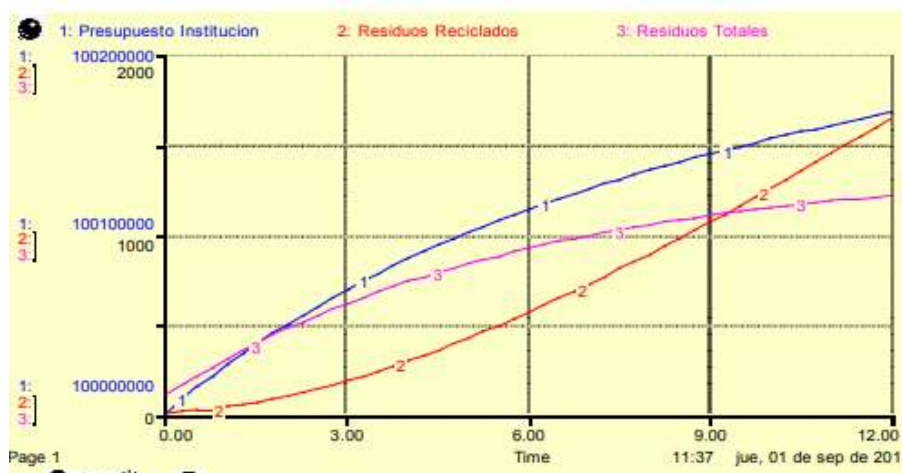
13. DISCUSIÓN

En esta investigación se demostró por medio de la simulación, un aproximado de cuánto era necesario adquirir un vertedero por el exceso que había en cuanto a la capacidad, en otros estudios se ha concluido a la misma forma de solución en la que se concuerda con esos; en el proyecto un Análisis del impacto generado en un Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos por el aumento de los residuos asociados al crecimiento de la población a través de Dinámica de Sistemas realizan escenarios para saber qué tan necesario era el vertedero, esta investigación fue hecha en Bogotá teniendo esta ciudad problemas distintos a los nuestros y por lo tanto se tomó como opción estudiar la necesidad que había de obtener un vertedero como se muestra en la figura 11.

Como nuestra idea también fueron realizadas investigaciones en menor escala como lo son la producción de residuos en instituciones como se muestran en el proyecto Modelo Sistémico para el Manejo de Residuos Sólidos en Instituciones Educativas en Colombia donde proponen como solución formas de concientizar y también proponen el reciclaje como medida de estabilización en cuanto a residuos producidos y reutilizados.

A diferencia de nosotros ellos tienen en cuenta el presupuesto gastado en dichas campañas como se puede observar mejor en la siguiente figura.

Figura 18. Simulación de ejemplo de una producción de desechos en menor escala con presupuesto



Fuente: Danny Ibarra y Johan Redondo

Esta forma de relación que se ve en el proyecto de Ibarra y Redondo, es interesante y se reconoce que el haber implementado una generación de gastos hubiera ampliado más la situación del problema, dando lugar a más variables y relaciones enfocadas a la economía y como estas a su vez limitan el desarrollo de algunas soluciones propuestas en nuestro modelo, sin embargo se tiene pensado hacer en trabajos futuros.

El estudio hecho en Bucaramanga y su área metropolitana es un caso único, pues por ser en específico esos lugares permite la obtención de distintos resultados y también hizo necesaria diferentes búsquedas a la de los proyectos ya referenciados.

El aporte que hizo esta investigación fue la recolección de datos e información para que fuera sintetizada y enfocada en un modelo que muestra un desarrollo de variables principales como desechos y población; otro de los aportes fue la información de una aproximado del exceso que se está sufriendo en los vertederos, y por lo tanto se puede decir que este mismo es la necesidad de otro relleno sanitario para la disposición de residuos.

14. CONCLUSIONES

Para la solución general del problema está radicado en nosotros mismos como ciudadanos que juntos hacemos una gran mezcla de consecuencias para nosotros mismos, se vio en esta investigación, como la falta de cultura de la persona afecta drásticamente los resultados, también el reciclaje y muchas otras carencias que tenemos en cuanto a lo cultural y educativo se refiere.

La hipótesis dinámica nos ayudó a observar mejor y de una manera más simple, la raíz del problema y con esto pudimos estructurar de forma óptima el modelo que se quería crear; los modelos realizados para esta investigación nos permitieron darnos cuenta del gran daño que estamos cometiendo para nuestro lugar de morada, pues esto se sabe que es sólo un área, pero se vieron modelos de otros lugares donde están sufriendo problemas similares a iguales o diferentes magnitudes con respecto a nosotros.

Los objetivos propuestos para el proyecto fueron cumplidos, o lo que es lo mismo, el objetivo general fue desarrollado a totalidad, hubieron ciertos cambios pero el enfoque del proyecto se mantuvo con el fin de llegar a una conclusión de la afección que se sufre día a día con la contaminación por los desechos.

15. REFERENCIAS

- ¿Qué es modelado y simulación? (2018). Recuperado de <https://www.utadeo.edu.co/es/link/maestria-en-modelado-y-simulacion-mms/26106/layout-1/que-es-modelado-y-simulacion-ms>
- ARDILA, E. (2018). A El Carrasco está llegando más basura de la permitida. Recuperado de <http://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/366033-crece-disposicion-anual-de-basura-por-cada-habitante>
- Avila, S., Nieto, M., Jiménez, D., & Osorio, J. (2011). *Análisis del impacto generado en un Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos por el aumento de los residuos asociados al crecimiento de la población a través de Dinámica de Sistemas*. Recuperado de http://www.urosario.edu.co/Administracion/documentos/9-Dinamicas/063_1701714063/
- Basura y productos de desecho | Salud Ambiental en la Escuela. (2018). Recuperado de <https://www.saludambientalenlaescuela.org/fuentes-exposicion/basura-productos-desecho>
- Cai, L., & Liu, Y. (2012). *Application of System Dynamics for Municipal Waste Management in China: A Case Study of Beijing*. Recuperado de <https://www.systemdynamics.org/assets/conferences/2013/proceed/papers/P1106.pdf>
- CHIO, J. (2017). 15 años esperando una solución para El Carrasco. Recuperado de <http://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/412777-15-anos-esperando-una-solucion-para-el-carrasco>
- Diario, E. (2018). Impacto provocados por la Basura. Recuperado de <https://www.elnuevodiario.com.ni/especiales/83270-impacto-provocados-basura/>
- DINAMICA DE SISTEMAS. Página principal. ----- DINAMICA DE SISTEMAS VENSIM ----- DINAMICA DE SISTEMAS. (2018). Recuperado de <http://dinamica-de-sistemas.com/>
- Dyson, B., & Chang, N. (2004). *Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling*. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X04001850>

- Emergencia ambiental por colapso de una celda de basura en El Carrasco. (2018). Recuperado de <http://www.vanguardia.com/judicial/446683-emergencia-ambiental-por-colapso-de-una-celda-de-basura-en-el-carrasco>
- F., K., & P., G. (2018). *Wasted Paradise? Policies for Small Island Developing States to Manage the Tension between Tourism-Driven Economic Growth and Waste Generation. The Case of the Maldives*. Recuperado de <https://search.usi.ch/en/people/537b56d173ea03adab0292d44a2f557e/goncalves-paulo/publications>
- Ibarra, D., & Redondo, J. (2010). *Modelo de regionalización para el manejo sostenible de los residuos sólidos municipales*. Recuperado de <https://docplayer.es/17958133-La-dinamica-de-sistemas-un-paradigma-de-pensamiento.html>
- Ibarra D., & Redondo J. (2011). *Modelo Sistémico para el Manejo de Residuos Sólidos en Instituciones Educativas en Colombia* [Ebook]. Bogotá. Retrieved from https://www.urosario.edu.co/Administracion/documentos/9-Dinamicas/021_1701714021/
- Locales, E. (2018). El Carrasco colapsa y tiene a Bucaramanga y el área en emergencia. Recuperado de <http://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/446720-el-carrasco-colapsa-y-tiene-a-bucaramanga-y-el-area-en-emergen>
- Kwon, C., Park, R., Choi, J., & Son, J. (2017). *Case Study of K-12 program in South Korea - Applied by World Climate Focused on Environment Subject*. Recuperado de <https://www.systemdynamics.org/assets/conferences/2017/proceed/papers/P1221.pdf>
- Modelos de evaluación pdf. (2018). Recuperado de https://www.slideshare.net/Mercy_21/modelos-de-evaluacin-pdf
- PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE RIOHACHA. (2019). Retrieved from <http://www.riohachalaguajira.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionControl/PLAN%20DE%20GESTI%C3%93N%20INTEGRAL%20DE%20LOS%20RESIDUOS%20S%C3%93LIDOS%20DEL%20DISTRITO%20DE%20RIOHACHA.pdf>
- PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS PGIRS 2016 – 2027. (2019). Retrieved from http://www.bucaramanga.gov.co/la-ruta/download/plan_integral_de_residuos_solidos/PLAN_DE_GeSTION_INTEGRAL_DE_RESIDUOS_SOLIDOS_BUCARAMANGA_2016-2027_2.pdf
- Problemática Ambiental El Carrasco Bucaramanga. (2009). Recuperado de <http://carrascobucaramanga.blogspot.com/>

- Rodríguez, A., Escalante, E., & Reyes, L. (2017). *From Recoverers to Recycling Organization, Socio-Economic and Environmental Considerations on Residential Waste Management*. Recuperado de <https://www.systemdynamics.org/assets/conferences/2016/proceed/abstracts/1370.html>
- Santa Catalina, I. (2010). *Modelo de Dinámica de Sistemas para la implantación de Tecnologías de la Información en la Gestión Estratégica Universitaria* (Doctorado). Universidad del País Vasco.
- SANTANDER 2019-2030 FORMULACIÓN DE LA VISIÓN PROSPECTIVA DE SANTANDER 2019-2030. (2019). Retrieved from <https://www.uis.edu.co/webUIS/es/investigacionExtension/documentos/docInte res/Tomo%20VI%20Documento%20%20Proceso%20%20Prospectivo.pdf>
- Solano, J., & Redondo, J. (2010). *Dinámica de Sistemas aplicada a la triada: población, generación de residuos y calidad ambiental. Una perspectiva que integra: la Dinámica de Sistemas y los sistemas dinámicos*. Recuperado de <http://lunazul.ucaldas.edu.co/index.php/english-version/91-coleccion-articulos-espanol/108-dinamica-de-sistemas>
- Vásquez, O. (2005). *Modelo de simulación de gestión de residuos sólidos domiciliarios en la Región Metropolitana de Chile*. Recuperado de <http://www.ced.cl/ced/wp-content/uploads/2012/03/modelosimulaciongestionresiduos.pdf>
- Zavala, P. (2018). *Causas y consecuencias de la contaminación por desechos sólidos domésticos*. Recuperado de <http://contaminacionporb4sur4.blogspot.com/2012/02/causas-son-muchas-las-causas-que.html>