

CIS1310TK03

SIM-WASTE

(Simulador de la Gestión Integral de Residuos Sólidos Domiciliarios)

SEBASTIÁN ROJAS DÍAZ
STEPHANIE SÁNCHEZ OLAYA

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
BOGOTÁ, D.C.

2013

CIS1310TK03

SIM-WASTE

(Simulador de la Gestión Integral de Residuos Sólidos Domiciliarios)

Autores:

Sebastián Rojas Díaz

Stephanie Sánchez Olaya

MEMORIA DEL TRABAJO DE GRADO REALIZADO PARA CUMPLIR UNO
DE LOS REQUISITOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO DE
SISTEMAS

Director

Oscar Xavier Chavarro García

Jurado

Leonardo Flórez Valencia

Blanca Oviedo Torres

Página web del Trabajo de Grado

<http://pegasus.javeriana.edu.co/~CIS1310TK03/>

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
BOGOTÁ, D.C.

Mayo, 2013

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS**

Rector Magnífico

Joaquín Emilio Sánchez García S.J.

Decano Académico Facultad de Ingeniería

Ingeniero Jorge Luis Sánchez Téllez

Decano del Medio Universitario Facultad de Ingeniería

Padre Sergio Bernal Restrepo S.J.

Director de la Carrera de Ingeniería de Sistemas

Ingeniero Germán Alberto Chavarro Flórez

Director Departamento de Ingeniería de Sistemas

Ingeniero Rafael Andrés González Rivera

Artículo 23 de la Resolución No. 1 de Junio de 1946

“La Universidad no se hace responsable de los conceptos emitidos por sus alumnos en sus proyectos de grado. Sólo velará porque no se publique nada contrario al dogma y la moral católica y porque no contengan ataques o polémicas puramente personales. Antes bien, que se vean en ellos el anhelo de buscar la verdad y la Justicia”.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer en primer lugar a nuestros padres quienes han sido un apoyo incondicional a lo largo de nuestros estudios y nos han sustentado con orgullo y dedicación para conquistar una de las metas más importantes de nuestras vidas. En segundo lugar queremos agradecer a nuestro director de trabajo de grado el Ingeniero Oscar Xavier Chavarro García, quien ha depositado gran confianza en nosotros para el desarrollo de este proyecto y quien nos ha asesorado de manera íntegra a lo largo de todo el trabajo.

También agradecemos sobremanera a nuestros asesores quienes creyeron en este proyecto y fueron soporte para nosotros en las diferentes áreas del conocimiento involucradas; la Ingeniera Sandra Méndez en el área de la gestión de residuos sólidos, el Ingeniero Rafael González en el área de simulación basada en agentes y el Ingeniero Alex Linares quien nos apoyó en el trabajo de campo por medio de PROSOFI. También queremos agradecer a la profesora Mónica Brijaldo quien nos asesoró en la parte pedagógica desde su área del conocimiento de la educación.

Finalmente queremos agradecer a la comunidad de Usme, especialmente al barrio El Bosque y al comedor comunitario donde nos acogieron muy afectuosamente y nos permitieron realizar un muy buen trabajo de campo.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICAS	xiv
ABSTRACT.....	xv
RESUMEN	xv
RESUMEN EJECUTIVO	xvi
INTRODUCCIÓN	1
1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO.....	2
1.1. OPORTUNIDAD O PROBLEMÁTICA.....	2
1.1.1. Descripción del contexto.....	2
1.1.2. Formulación	3
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	3
1.2.1. Visión global.....	3
1.2.2. Justificación	4
1.2.3. Objetivo general.....	4
1.2.4. Objetivos específicos	4
2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	5
2.1. MODELO DE SIMULACIÓN BASADA EN AGENTES	5
2.2. PROTOCOLO ODD.....	5
2.3. PARADIGMA DE DESCRIPCIÓN DE AGENTES BDI.....	7
2.4. PLATAFORMA DE SIMULACIÓN ELEGIDA.....	8
2.5. MODELOS DE SIMULACIÓN EXISTENTES SOBRE GIRS	9
2.5.1. Solución 1: DISCUS – Juego sobre la gestión de residuos sólidos (Klee, 1970)	9
2.5.2. Solución 2: Comportamiento en el Manejo de Residuos Sólidos Domiciliarios (Tucker & Smith, 1999).....	9
2.5.3. Solución 3: Modelo basado en agentes para el manejo de residuos sólidos y análisis de simulación (Guihong, Hua, Qiang, & Yan, 2008)	10
2.5.4. Cuadro comparativo de las soluciones existentes con SIMWASTE.....	10
2.6. VALIDACIÓN EN MODELOS DE SIMULACIÓN.....	11
2.7. FUNDAMENTOS EN GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS	12
2.7.1. Gestión de residuos sólidos domiciliarios.....	12
2.8. FUNDAMENTOS DE EDUCACIÓN.....	14
2.8.1. Definición de Didáctico	14

2.8.2.	Educación en gestión de residuos sólidos domiciliarios	15
2.8.3.	Ciclos de educación	15
3.	PROCESO.....	17
3.1.	METODOLOGÍA PROPUESTA	17
3.1.1.	Recopilación bibliográfica	17
3.1.2.	Diseño	18
3.1.3.	Construcción	19
3.1.4.	Validación del prototipo.....	19
3.2.	DESARROLLO DEL PROYECTO	19
3.2.1.	Desarrollo del prototipo	20
3.3.	REFLEXIÓN METODOLÓGICA	23
4.	RESULTADOS OBTENIDOS	26
4.1.	ENCUESTA DE CARACTERIZACIÓN.....	26
4.2.	HERRAMIENTA INTRODUCTORIA.....	30
4.3.	MODELO CONCEPTUAL	30
4.3.1.	ODD.....	31
4.4.	PROTOTIPO FUNCIONAL.....	39
4.4.1.	Descripción del prototipo.....	43
4.4.2.	Descripción de algoritmos del prototipo	44
5.	VALIDACIÓN	47
5.1.	Pruebas al prototipo	47
5.2.	Validación del modelo conceptual	51
5.3.	Validación del prototipo.....	51
5.4.	Validación con usuarios finales	52
	Análisis de resultados	52
6.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....	54
6.1.	CONCLUSIONES	54
6.2.	RECOMENDACIONES	54
6.3.	TRABAJO FUTURO.....	55
7.	BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	56
	REFERENCIAS.....	56
8.	ANEXOS	59
	Anexo 1. Propuesta de Trabajo de Grado	¡Error! Marcador no definido.

Anexo 2. Encuesta de caracterización..... 59

Anexo 3. Actas de Reunión 62

Anexo 4. Bitácora de actividades..... **¡Error! Marcador no definido.**

Anexo 5. Validación del modelo por experto en Simulación Basada en Agentes 66

Anexo 6. Validación del prototipo por experto en Gestión de Residuos Sólidos 67

Anexo 7. Validación del prototipo por funcionario de la UAESP 68

Anexo 8. Validación con usuarios finales 70

Anexo 9. Stakeholders 73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparación de modelos existentes y SIMWASTE 11

Tabla 2: Características de cada ciclo de acuerdo con la perspectiva de desarrollo humano que reconoce la RCC.	16
Tabla 3: Tabla de decisión para el tipo de interfaz	23
Tabla 4: Datos de la muestra para la encuesta de caracterización	26
Tabla 5: Entidades, variables de estado y escalas	32
Tabla 6: Procesos	33
Tabla 7: Pruebas al prototipo	51

ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICAS

Figura 1: Componentes de desarrollo y validación de un modelo de simulación(Sargent, 2010)	12
Figura 2: Metodología para proyecto de investigación en Ingeniería.....	17
Figura 3: Primera implementación del modelo de simulación.....	21
Figura 4: Segunda implementación del modelo de simulación	22
Figura 5: Análisis Post mortem.....	25
Figura 6: Personas por vivienda.....	26
Figura 7: Bolsas generadas diariamente.....	27
Figura 8: Viviendas que separan por tipo de residuo	27
Figura 9: Conoce acerca de las bolsas blancas	28
Figura 10: Reconoce al reciclador del barrio	28
Figura 11: Percibe la existencia de perros callejeros	28
Figura 12: Conoce sobre Basura Cero	29
Figura 13: Manejo de residuos peligrosos	29
Figura 14: Existe vínculo con el colegio Ofelia Uribe.....	29
Figura 15: Herramienta introductoria	30
Figura 16: Decisiones de Agente Persona.....	35
Figura 17: Prototipo funcional	43

ABSTRACT

Integrated solid waste management is an important subject in terms of the challenging needs that urban societies have not been able to supply yet, mainly due to the lack of culture and conscience of people at this respect. SIM-WASTE is an agent-based simulation model addressed to elementary schools to use it as a didactic tool to teach children, between 4th and 5th grade, how people behavior about solid waste management drastically affects the environment due to the amount of recyclable waste which ends up not being reused.

RESUMEN

La gestión integral de residuos sólidos es importante en términos de las necesidades desafiantes que las sociedades no han sido capaces de suplir, principalmente por la falta de cultura y conciencia de la gente al respecto. SIM-WASTE es un modelo de simulación basado en agentes dirigido a colegios y escuelas donde puede ser usado como herramienta didáctica para enseñar a los niños, entre 4^{to} y 5^{to} grado, cómo el comportamiento de las personas respecto a la gestión de los residuos afecta drásticamente el medio ambiente debido a la cantidad de material potencialmente reciclable que termina no siendo aprovechado.

RESUMEN EJECUTIVO

Dados los índices de contaminación que se atribuyen en gran parte al manejo inadecuado de los residuos, aparece la Gestión Integral de Residuos Sólidos Domiciliarios (GIRSD) (Tchobanoglous, 1994) como una propuesta que permite mejorar el manejo de los residuos desde su origen.

Los residuos sólidos domiciliarios son todos los residuos que surgen de las actividades humanas en los sectores residenciales en áreas urbanas. Generalmente se dividen en dos grandes grupos: residuos orgánicos (desperdicios alimenticios y restos de jardinería) y residuos inorgánicos (papel, plástico, vidrio, madera y residuos peligrosos).

SIM-WASTE surge como una respuesta en el tema de cultura respecto a la gestión de residuos sólidos, por medio de un modelo de simulación basado en agentes donde se muestra el comportamiento de los diferentes actores en el proceso, principalmente las personas generadoras de residuos, quienes toman decisiones como separar los diferentes tipos de residuos y la manera de disponerlos para su recolección.

Inicialmente se realizó una recolección de datos, por medio de una encuesta aplicada a una muestra representativa de la población de interés, con el fin de tener información que permitiera generar mayor precisión y exactitud en los resultados del modelo de simulación. Simultáneamente se realizaron reuniones con diferentes actores involucrados en el proceso tales como representantes de ASOBEUM (Asociación de Recuperadores) y representantes de la UAESP (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos), con los cuales se obtuvieron datos relevantes en cuanto a posibles alternativas para mejorar el sistema de recolección actual. Posteriormente se realizó una reunión con funcionarios de organismos públicos tales como la EAAP (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá) acerca de datos importantes sobre la producción y la gestión de residuos sólidos en el sector de estudio, y los planes distritales existentes. A partir de la información recopilada, se procedió a la construcción de un modelo de simulación, su implementación y su respectiva validación con expertos en cada una de las áreas.

En el proceso de construcción del modelo se utilizó un ciclo de vida iterativo e incremental, es decir, cada idea planteada sobre el modelo conceptual era validada concurrentemente con su implementación en la plataforma de simulación escogida NetLogo. Este proceso se llevó a cabo hasta cierto punto dada la limitación temporal para el desarrollo del proyecto. El modelo conceptual se basa principalmente en el protocolo ODD (Overview, Design Concepts and Details) para la descripción de un modelo de simulación propuesto por Steven Railsback (Volker Grimm, 2006) el cual tiene como característica valiosa para el proyecto, que la descripción y especificación del modelo se realiza teniendo en cuenta su eficaz

implementación en NetLogo. Este protocolo contempla todas las características de un modelo de simulación basado en agentes tales como:

- Objetivo del modelo
- Escalas
- Entidades
- Variables de estado
- Conceptos de diseño tales como:
 - Emergencia
 - Aprendizaje
 - Adaptación
 - Interacción
- Variables de entrada y de salida.

Complementario al protocolo ODD, el diseño de los agentes se realizó teniendo en cuenta el paradigma BDI (Zhang, Kendall, 2003) (Belief, Desire, Intention), e implementándolo haciendo uso de una librería en NetLogo que permite la especificación de agentes con estas características, lo cual facilitó el desarrollo del prototipo.

El Programa Social PROSOFI (Javeriana, 2013) es una iniciativa académica que inspirada en la misión, el proyecto educativo y la política de responsabilidad social universitaria de la Pontificia Universidad Javeriana, pretende dinamizar desde la interdisciplinariedad y la inter institucionalidad diferentes procesos de desarrollo integral profesional en los estudiantes. Por medio de este programa se obtuvo un apoyo importante en cuanto al trabajo de campo para la realización de actividades en el sector del caso de estudio.

Como resultados del proyecto se obtiene un modelo conceptual de la GIRSD (Gestión Integral de Residuos Sólidos Domiciliarios) teniendo en cuenta los residuos ordinarios, reciclables y peligrosos, y todos los actores involucrados en el proceso desde la generación hasta la recolección de estos residuos. Como parte de los resultados también se obtiene un prototipo funcional del modelo conceptual diseñado. Este prototipo cuenta con características de una herramienta didáctica ya que en principio es creado para cumplir unos objetivos pedagógicos, de manera que pueda ayudar a enriquecer el proceso que PROSOFI desarrolla en la comunidad. Adicionalmente, se cuenta con una herramienta introductoria, que permite ver el proceso de separación en la fuente con el fin de permitir un mayor nivel de detalle para el usuario. Se decidió realizar una pequeña simulación en la cual el entorno es la vivienda y los habitantes de esta realizan una separación óptima de los residuos tenidos en cuenta en el modelo general.

A partir de los resultados obtenidos a lo largo del desarrollo de este proyecto, se concluye que el objetivo del trabajo de grado se ha cumplido a cabalidad y el modelo propuesto como SIMWASTE ha sido validado por medio de una herramienta de software apropiada para implementar modelos de simulación basada en agentes, permitiendo así evidenciar las características del comportamiento en el proceso de la GIRSD por parte de los actores involucrados de una comunidad.

INTRODUCCIÓN

El tema de la gestión de residuos sólidos en grandes ciudades cada vez se vuelve más preocupante y alarmante, dados los altos índices de contaminación que se atribuyen en gran medida al deficiente sistema que se ha implantado para ello. Esta problemática se ha intentado atacar de muchas maneras, incluyendo mecanismos sofisticados para la recolección y la disposición de los residuos. Pero es claro que ninguna de estas fórmulas tiene la repercusión ambiental que se espera, pues el problema reside en el comportamiento humano en el origen de estos residuos, mas no en el tratamiento que se aplique después de su disposición.

De esta manera, es necesario buscar otro tipo de solución que permita llegar a un estado deseable y satisfactorio para todos los actores involucrados en este proceso sin sacrificar los intereses de estos. A partir de esta necesidad surge como una respuesta SIM-WASTE, atacando esta problemática desde un entorno educativo lo cual puede no mostrar grandes resultados a corto plazo, pero es un gran aporte si se implementa de manera correcta en el sistema de educación básica en colegios de las diferentes sociedades.

A continuación se presenta de manera detallada la problemática que se ataca por medio de trabajo, el marco teórico y el estado del arte que se tuvo en cuenta para el desarrollo del proyecto en todas las áreas del conocimiento involucradas. Luego se presenta una descripción del proceso que se llevó a cabo, teniendo en cuenta la metodología propuesta y la realmente aplicada. Finalmente se presentan los resultados obtenidos a partir de la validación con los expertos y las recomendaciones para trabajos futuros en este proyecto.

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO

A continuación se realiza una descripción general de la problemática abordada en este proyecto, donde se establecen los objetivos del proyecto.

1.1. OPORTUNIDAD O PROBLEMÁTICA

A continuación se presenta la descripción contextual de la problemática y la formulación de la pregunta generadora.

1.1.1. Descripción del contexto

“Dentro del amplio espectro de temas que guardan relación con una problemática tan importante en la actualidad como es la protección del Medio Ambiente, el problema de los residuos ocupa un lugar principal en la gestión ambiental.”(Tchobanoglous, 1994)

Dados los índices de contaminación que se atribuyen en gran parte al manejo inadecuado de los residuos, aparece la Gestión Integral de Residuos Sólidos Domiciliarios (GIRSD) como una propuesta que permite mejorar el manejo de los residuos desde su origen. Dado que la información relacionada con una GIRSD no es proporcionada de manera eficiente a los diferentes actores presentes en el proceso, es importante proveer herramientas de educación sobre este tema que nos compete a todos como ciudadanos y como parte del ecosistema.

Los problemas asociados a la gestión de los residuos sólidos en la sociedad actual son complejos debido a la cantidad y la naturaleza diversa de los residuos, las limitaciones de fondos para los servicios públicos en muchas grandes ciudades, el desarrollo de las zonas urbanas dispersas, el impacto de la tecnología, las limitaciones emergentes de energía y materias primas, y la falta de conocimiento de la población sobre el tema.

Los residuos sólidos domiciliarios son todos los residuos que surgen de las actividades humanas en los sectores residenciales en áreas urbanas. Generalmente se dividen en dos grandes grupos: residuos orgánicos (desperdicios alimenticios y restos de jardinería) y residuos inorgánicos (papel, plástico, vidrio, madera y residuos peligrosos). El hacer ingeniería de las “basuras”, exige una reflexión profunda y un análisis sistemático de los diferentes conceptos, términos y elemento del problema.(Tchobanoglous, 1994)

En cuanto a los programas didácticos sobre la gestión de residuos sólidos, algunas organizaciones se enfocan en reducir los hábitos consumistas y promover el consumo de productos naturales mientras otras

se enfocan en el reciclaje de materiales y la reutilización de bienes con el fin de reducir la cantidad de residuos que tienen su disposición final en los vertederos o incineradores (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos, 2012). Generalmente los programas de educación sobre los residuos sólidos proveen la información al público con la esperanza de mejorar los comportamientos de los generadores de residuos.

A través del desarrollo de este proyecto, se logró contribuir en el apoyo a la educación de la población sobre el manejo y la gestión de los residuos sólidos domiciliarios, teniendo en cuenta además que si se educa mejor a la población, como consecuencia, se promoverá la reducción y reutilización de los residuos sólidos (Tchobanoglous, 1994).

Finalmente, este proyecto plantea la construcción de un modelo de simulación y la implementación del mismo a partir de un caso de estudio, lo cual ha contribuido a la consolidación de un esquema educativo en el tema aportando a la solución de la problemática. Es importante aclarar que la implementación es un prototipo funcional del modelo, por lo que no cuenta con todas las características planteadas conceptualmente.

1.1.2. Formulación

A partir de la problemática planteada, se formula la siguiente pregunta que se puede responder a través de este trabajo de grado:

¿Cómo el desarrollo de un modelo y una simulación basados en agentes de la GIRSD en los sectores de estratos 1 y 2 de Bogotá, pueden ser utilizados como herramienta educativa por el programa social PROSOFI?

La decisión de realizar el modelo de simulación para poblaciones de estratos 1 y 2, se tomó teniendo en cuenta el potencial social de PROSOFI en estas poblaciones y el impacto que puede tener este trabajo en el ámbito socio-cultural en los sectores urbanos menos favorecidos económicamente.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

A continuación se realiza una descripción global del proyecto así como la justificación y los objetivos del mismo.

1.2.1. Visión global

Para poder ejecutar correctamente este proyecto, fue necesario realizar varias investigaciones y estudios. Inicialmente se realizó un estudio por medio de encuestas a una muestra representativa de la población de

interés, para así lograr la mayor confiabilidad y exactitud en el modelo de simulación. Simultáneamente se realizaron reuniones con diferentes actores involucrados en el proceso tales como representantes de ASOBEUM (Asociación de Recuperadores) y representantes de la UAESP con los cuales se obtuvieron datos relevantes en cuento a las propuestas para la mejora del sistema de recolección actual. Posteriormente se realizó una investigación en organismos públicos sobre datos importantes de la producción y la gestión de residuos sólidos en el sector de estudio y los planes distritales existentes. Con la información obtenida a partir de los estudios realizados anteriormente, se procedió a la construcción del modelo de simulación, su implementación y su respectiva validación con los expertos.

1.2.2. Justificación

Las sociedades de hoy en día son grandes consumidoras de recursos naturales, por lo que ha sido necesario generar soluciones que permitan crear una gestión apropiada para los residuos sólidos dentro de la sociedad, promoviendo así la práctica de las tres R's: Reducir, Reutilizar y Reciclar (McHarry, 2012).

Una manera de manejar esta problemática, es a través de la educación respecto al manejo adecuado de los residuos sólidos que se producen en los hogares y así, generar apropiación del territorio y cultura ciudadana.

Además, este proyecto contribuyó especialmente a la solución de una de las problemáticas contempladas en la misión de la Pontificia Universidad Javeriana:

“La irracionalidad en el manejo del medio ambiente y de los recursos naturales”. (Pontificia Universidad Javeriana, 1992)

1.2.3. Objetivo general

Desarrollar un modelo que permita la simulación basada en agentes y la visualización de la Gestión Integral de Residuos Sólidos Domiciliarios (GIRSD) en sectores de estratos 1 y 2 en la ciudad de Bogotá, con fines pedagógicos dentro de un marco investigativo en el programa social PROSOFI. Se tomará como caso de estudio, el barrio El Bosque ubicado en la localidad de Usme, en la ciudad de Bogotá.

1.2.4. Objetivos específicos

- Realizar una caracterización de los diferentes actores dentro del proceso de la GIRSD.
- Desarrollar un modelo de simulación basado en agentes que integre las variables encontradas en la caracterización realizada.
- Implementar el modelo planteado en la plataforma de simulación elegida NetLogo.
- Realizar la validación del modelo construido.

Se debe tener en cuenta que en el anteproyecto presentado estos objetivos estaban presentados como fases metodológicas, las cuales tienen estos objetivos incluidos implícitamente.

2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

A continuación se establecen las definiciones de los conceptos básicos para el correcto entendimiento del desarrollo de este proyecto.

2.1. MODELO DE SIMULACIÓN BASADA EN AGENTES

La Simulación Basada en Agentes (ABS) es un paradigma relativamente nuevo utilizado para la simulación de sistemas con agentes autónomos interactivos. Mientras que la definición más precisa de ABS varía según el campo de estudio (incluso dentro del mismo campo), la filosofía y los usos de ABS son similares – simular interacciones de objetos autónomos (llamados agentes) para identificar, explicar, generar y analizar comportamientos emergentes (Chan, Son, & Macal, 2010).

En las áreas de *inteligencia artificial* y *ciencias sociales* adoptan una noción humanizada en la descripción de agentes. Los agentes pueden percibir, razonar, reaccionar, memorizar, y tomar iniciativas basadas en su conocimiento, experiencia, y reglas predefinidas; todo de acuerdo a la especificación que realicen los diseñadores (Zhang, Wang, Luo, & Li, 2010). En este sentido, un agente puede ser concebido como un avatar de un humano o una representación de una criatura inteligente.

Un modelo de simulación tiene como objetivo capturar un sistema del mundo real. Como consecuencia, el lenguaje de modelado usado para desarrollar el modelo de simulación debe contar con una “semántica del mundo real” que garanticen algún tipo de confiabilidad ontológica para los modelos realizados en este (Guizzardi & Wagner, 2011). Este lenguaje se puede definir de diferentes maneras, pero esto depende del objetivo del modelo que se está desarrollando, el lenguaje puede ser por medio de funciones matemáticas, modelos lógicos y modelos basados en la utilidad. Todos tienen sus ventajas y desventajas según el sistema que se quiere representar, por lo cual es importante realizar un estudio riguroso antes de decidir utilizar un tipo de lenguaje con el fin de obtener los mejores resultados con el menor esfuerzo posible.

2.2. PROTOCOLO ODD

El protocolo ODD (Overview, Design concepts, and Details) fue publicado en el año 2006 con el fin de estandarizar las descripciones publicadas de modelos basados en individuos y basados en agentes (ABMs) (Grimm et al., n.d.). Los objetivos principales del ODD son hacer las descripciones de los modelos más

entendibles y completas, por lo tanto lograr que estos modelos deje de ser objeto de crítica por ser irrealizables.

Las partes que componen un modelo de simulación basado en agentes según el protocolo ODD son:

- **Propósito**

Todo modelo debe comenzar desde una pregunta, un problema o una hipótesis clara. Por consiguiente, el protocolo ODD comienza con un resumen conciso del objetivo general para el cual el modelo se ha desarrollado.

- **Entidades, variables de estado y escalas**

Una entidad es un objeto o un actor individual que se comporta como una unidad y puede interactuar con otras entidades o puede ser afectado por factores externos del entorno. Su estado actual se caracteriza por sus variables de estado o atributos. Una variable de estado es una variable que distingue a una entidad de las demás de su misma especie o categoría, o que rastrea cómo la entidad cambia a lo largo del tiempo.

Los tipos de entidades que generalmente se incluyen en un ABM son:

- Agentes/individuos
- Unidades espaciales
- Entorno
- Colectivos

- **Descripción y planeación de procesos**

Los procesos son las diferentes tareas que se realizan en la simulación, ya sean tareas realizadas por los agentes o por el observador del modelo quien controla la ejecución de estos procesos. También se describe qué hace cada proceso y en qué orden se ejecutan todos los procesos por los agentes.

- **Conceptos de diseño**

Existen once conceptos de diseño:

- Principios básicos: son los conceptos generales, teorías, hipótesis o enfoques de diseño que apoyan el modelo.

- Emergencia: propiedad que surge a partir de una característica adaptativa o un comportamiento de los individuos dentro del modelo.
- Adaptación: son los rasgos adaptativos que tienen los individuos. Se describen las reglas que tienen para tomar decisiones o el cambio de comportamiento en respuesta a cambios en ellos mismos o del entorno.
- Objetivos: si la adaptación aumenta la medida de éxito del individuo para alcanzar algún objetivo, cuál es el objetivo que se logra y como se mide.
- Resultado (salida) esperado: a partir de la adaptación y el conjunto de objetivos.
- Detección: variables del entorno que los individuos tienen en cuenta para la toma de decisiones.
- Interacción: tipos de interacción (directa, indirecta) entre los diferentes individuos.
- Procesos estocásticos: procesos que asumen valores aleatorios.
- Colectividad: interacción entre los individuos que pertenecen a un mismo grupo social.
- Observación: datos obtenidos de fuentes externas para probar, entender y analizar el modelo.

En la sección 4.3.2 se presenta el resultado del modelo conceptual una vez se aplicó este protocolo para la descripción del modelo.

2.3. PARADIGMA DE DESCRIPCIÓN DE AGENTES BDI.

Una investigación se ha realizado acerca de agentes BDI (Belief – Desire - Intention). BDI es uno de los modelos en Sistemas de agentes. Actualmente, la mayoría de investigadores en agentes BDI se concentran en la habilidad de estos agentes para seleccionar planes dinámicamente con el fin de lograr sus objetivos. Los agentes se deben adaptar a cambios dinámicos e impredecibles.

La teoría de BDI se basa en la teoría de razonamiento propuesta por el filósofo Michael Bratman (Lin, Hsu, & Wang, 2009.). Cohen y Levesque dijeron: “un agente podría tener muchos deseos los cuales no todos pueden hacerse realidad” (Cohen & Levesque, 1990). Un agente BDI típico tiene un grupo de planes.

Dentro de la descripción de los agentes en el modelo conceptual, se tiene en cuenta este paradigma para la especificación de decisiones de estos agentes.

2.4. PLATAFORMA DE SIMULACIÓN ELEGIDA

La selección de la plataforma para implementar el prototipo de simulación, se realizó desde la planeación del proyecto en Seminario de Investigación. El criterio de selección fue teniendo en cuenta las características de los modelos que se pueden implementar en las diferentes plataformas existentes. Se decidió utilizar NetLogo dado que está orientado a la implementación de modelos con agentes simples (Railsback & Grimm, 2012); a diferencia de otras plataformas como BESA la cual está diseñada para implementar modelos multi-agentes complejos (Pablo, Ruiz, & Guerrero, 2009).

NetLogo es un entorno de diseño programable para la simulación de agentes en fenómenos naturales y sociales. Es usado por miles de estudiantes, docentes e investigadores en todo el mundo. Fue creado por Uri Wilensky y desarrollado en el Centro para Aprendizaje Conectado (CCL) en 1999 (Wilensky, 2012). Adicionalmente, la Universidad de Northwestern provee asesoría profesional, junto con una completa documentación y tutoriales para un mayor aprendizaje. (Volker Grimm, 2006)

Existen 4 tipos de agentes que permiten mayor flexibilidad según la simulación que se desee implementar (Volker Grimm, 2006) (Railsback & Grimm, 2012):

- Agentes: Son los agentes que se mueven alrededor del mundo. Estos poseen un identificador único y pueden tener ciertas características particulares. Además, agentes pueden estar subdivididas en razas (breeds) permitiendo procedimientos y variables de estado únicas para cada raza.
- Parcelas: Representan un cuadro del área en 2D ortogonal y son identificados por coordenadas (el parcela 0.0 es el centro del mundo). A diferencia de los agentes, los parcelas no se pueden mover, sin embargo cada uno posee sus propias características.
- Enlaces: Son agentes que permiten conectar 2 agentes de manera bidireccional. A cambio de tener coordenadas, los enlaces poseen 2 puntos extremos (donde cada uno es un agente).
- Observador: El observador es el encargado de “supervisar” parcelas y agentes. Es el responsable por inicializar el mundo, crear las agentes y realizar los procedimientos relevantes en la simulación

Adicionalmente, existe una extensión de sistemas de información geográfica GIS (por sus siglas en inglés Geographic Information Systems) que permite cargar “vector data” (puntos, líneas y polígonos) y “raster data” (grilla) en el modelo.

2.5. MODELOS DE SIMULACIÓN EXISTENTES SOBRE GIRS

Existen varios modelos de simulación desarrollados sobre comunidades artificiales u hogares individuales que simulan los comportamientos observados y medidos en el manejo de residuos sólidos (Tucker & Smith, 1999). A continuación se mencionan tres de las propuestas que se han desarrollado al respecto, teniendo en cuenta el orden cronológico.

2.5.1. Solución 1: DISCUS – Juego sobre la gestión de residuos sólidos (Klee, 1970)

Juegos dirigidos son una aplicación de la técnica de simulación que proporciona experiencia al jugador en situaciones de toma de decisiones y sustituye el juego en un entorno simulado por la participación en un entorno real. DISCUS es un juego dirigido que ilustra la aplicación de técnicas de juego al manejo de residuos. El objetivo del juego es establecer estaciones de transferencia, incineradores, y rellenos sanitarios en una región geográfica hipotética, y hacer otras asignaciones tales como los costos de colección, acarreo y procesamiento de los residuos a recoger.

2.5.2. Solución 2: Comportamiento en el Manejo de Residuos Sólidos Domiciliarios (Tucker & Smith, 1999)

La investigación realizada consistió en demostrar la prueba de concepto para la simulación individual, colectiva e interactiva de los comportamientos en el manejo de residuos sólidos domiciliarios para proveer una herramienta para la planeación integrada eficiente en el manejo de los residuos. El modelo desarrollado simula comunidades enteras como una distribución de hogares individuales comprometidos con el manejo de sus propios residuos, por medio de actividades como compostaje o reciclaje. La investigación tiene en cuenta el orden jerárquico personal de estas actividades, decisiones de participación y los factores que afectan los niveles de desviación para cada una de los resultados obtenidos. Estas decisiones son manejadas por medio de los atributos relevantes de los residentes en la comunidad, asociado en parte a los factores socio-demográficos.

Los elementos sociales de la simulación son usados como parámetros de control que determinan los flujos de residuos a través del hogar lo que provee una simulación del proceso, o un balance del material, a través del hogar. Los modelos desarrollados permiten la investigación de posibles intervenciones en la

administración distrital para incrementar el rendimiento general del sistema. Respuestas de comportamiento a diferentes estímulos externos pueden ser igualmente simuladas.

2.5.3. Solución 3: Modelo basado en agentes para el manejo de residuos sólidos y análisis de simulación (Guihong, Hua, Qiang, & Yan, 2008)

El sistema de manejo de residuos sólidos es un sistema complejo, dinámico y abierto, el cual tiene diferentes elementos incluyendo tecnologías de disposición, economía y sociedad en las interacciones. Con el fin de estudiar este sistema complejo, un modelo de simulación basado en agentes para el manejo de residuos sólidos fue desarrollado. La GIRS basada en agentes y los Agentes en el sistema fueron diseñados en diagramas de clase, diagramas de colaboración y diagramas de secuencia por medio de UML. El comportamiento de la separación en hogares, el efecto de la disposición de los residuos, el costo de sostener el sistema y la ganancia fueron simulados en diferentes escenarios.

Los resultados muestran que el modelo describe las dinámicas entre las actividades de disposición en los hogares y las políticas en el manejo de los residuos. Se realizaron experimentos en diferentes escenarios que mostraron la factibilidad y efectividad del modelo para evaluar políticas en el manejo de residuos.

2.5.4. Cuadro comparativo de las soluciones existentes con SIMWASTE

Una vez se estudiaron detalladamente los modelos propuestos anteriormente, se optó por no adoptar ninguno de estos modelos dado que las sociedades a las que estos fueron aplicados son muy diferentes a las poblaciones de estudio que se tiene en cuenta en este trabajo. Además, se observó que todas las soluciones tienen falencias las cuales pueden ser corregidas a partir de la construcción de un nuevo modelo el cual puede ser implementado en cualquier plataforma de simulación multi-agente.

A continuación se presenta un cuadro comparativo entre estas soluciones y la solución propuesta SIMWASTE.

Solución	Modelo	Implementación	Plataforma
(Tucker & Smith, 1999)	Utiliza un modelo jerárquico de las sub-procesos incluidos (generación, reuso, compostaje, disposición, recolección)	Uso de Sistemas de Información geográfica.	No menciona
(Guihong et al., 2008)	Modelo basado en diagramas de de clases, colaboración y secuencia en UML.	A partir de las clases y actores del modelo conceptual.	Repast

(Klee, 1970)	Construye modelos matemáticos para simular las decisiones tomadas por el jugador.	Utiliza una región geográfica hipotética.	Implementado en FORTRAN IV para un computador IBM 1130.
SIMWASTE	Utiliza el protocolo ODD para la construcción del modelo conceptual. Uso de modelos lógicos para la definición objetivos de utilidad en las decisiones tomadas por los agentes.	Uso de Sistemas de Información Geográfica. Uso del paradigma BDI para la definición de agentes que toman decisiones. Uso de librerías que permiten la aplicación de los algoritmos necesarios para la movilidad de los agentes.	NetLogo

Tabla 1: Comparación de modelos existentes y SIMWASTE

2.6. VALIDACIÓN EN MODELOS DE SIMULACIÓN

Los modelos de simulación basada en agentes son utilizados como un método para analizar “sistemas sociales” particularmente aquellos caracterizados por partes interactivas múltiples y comportamientos no lineales (Carley, 2002; Davidsson, n.d., 2002). Estos modelos son difíciles de validar porque representan un nuevo enfoque de simulación para el cual métodos tradicionales de validación no siempre son aplicables (Louie & Carley, 2008). A partir de estos restos, es necesario primero analizar un proceso de validación apropiado para este tipo de modelos.

De acuerdo con la manera en que el proceso de validación es ejecutado o la fase en el proceso de desarrollo del modelo donde este se realice, se pueden encontrar diferentes tipos de validación. Validación empírica o estadística, validación del modelo conceptual o validación operacional, validación estructural o validación del proceso (Klügl, 2008).

Trabajos anteriores en proceso de validación para modelos de simulación se pueden dividir en dos hilos. Un hilo se encarga de definir los pasos principales en la validación (Sargent, 2010). El otro hilo se encarga de definir las técnicas que se deben usar durante cada paso principal de la validación (Gurcan, Dikenelli, & Bernon, 2011). El proceso de validación debe estar atado al propósito y al contexto para el cual el modelo es desarrollado.

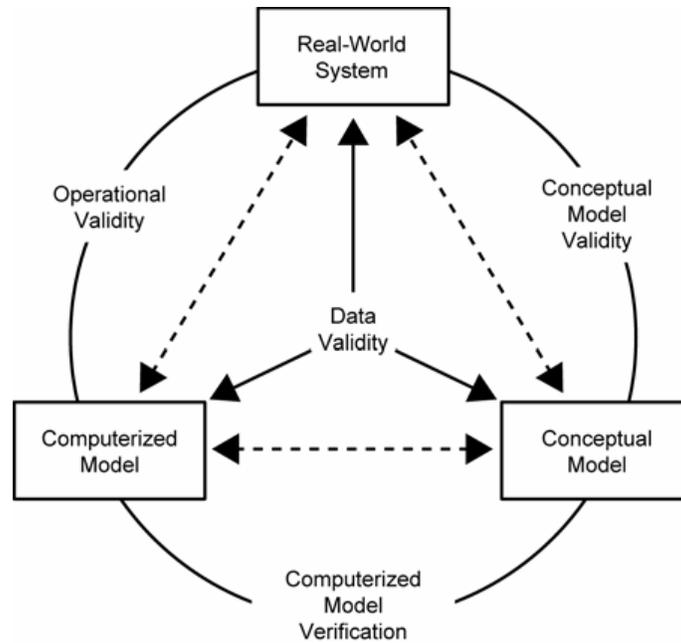


Figura 1: Componentes de desarrollo y validación de un modelo de simulación(Sargent, 2010)

En la figura anterior se muestran las tres partes que conforman un modelo de simulación que pueden ser validadas. La validez conceptual se logra determinando el grado en el que las teorías del modelo y las suposiciones subyacentes son apropiadas para el propósito del modelo. La validez operacional del modelo se logra determinando el grado en el que los resultados obtenidos a partir de la simulación corresponden a los obtenidos en el sistema real.

2.7. FUNDAMENTOS EN GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

A continuación se presentan los conceptos clave sobre la gestión de residuos sólidos.

2.7.1. Gestión de residuos sólidos domiciliarios

Orígenes de los residuos sólidos

Los orígenes de los residuos sólidos en una comunidad, están, en general, relacionados con el uso del suelo y su localización. Aunque pueden desarrollarse diferentes clasificaciones sobre los orígenes, las siguientes categorías son las más apropiadas para una comunidad urbana(Tchobanoglous, 1994):

- Domiciliario
- Comercial
- Institucional

- Construcción y demolición
- Servicios municipales
- Plantas de tratamiento
- Industrial
- Agrícola

Tipos de residuos sólidos domiciliarios

Los residuos sólidos domiciliarios, consisten en residuos sólidos orgánicos (combustible) e inorgánicos (incombustibles) de zonas residenciales y de establecimientos comerciales. Típicamente la fracción orgánica de los residuos domiciliarios y comerciales está formada por materiales como (entre los más comunes) (Pineda M., 1998):

- Residuos de alimentos
- Papel
- Cartón
- Plásticos
- Textiles
- Cuero
- Residuos de jardinería
- Madera
- Vidrio
- Latas
- Aluminio
- Residuos domésticos peligrosos

Plan de inclusión de población recuperadora

El servicio público de aseo de la ciudad de Bogotá está orientado principal y prioritariamente hacia el transporte y el enterramiento de basuras en el Relleno sanitario Doña Juana, en donde se disponen diariamente 6.300 toneladas de residuos sólidos. (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos, 2012)

El esquema de recolección y transporte se caracteriza por tener una estructura dual: de una parte empresas privadas mediante contratos de concesión realizan una labor formalizada, remunerada, que representa para la ciudadanía costos significativos; y de otra parte una población de miles de recicladores de oficio en condiciones de vulnerabilidad realiza diariamente una labor informal, sin remuneración, carente de reconocimiento y utilizando vehículos de tracción humana y animal (Itsuki & Komoda, 2004).

El nuevo modelo implicará una tecnificación gradual y progresiva de la actividad de los recicladores de oficio, de forma tal, que sin perder su trabajo y fuente de sustento, esa población pueda desarrollar su actividad superando dos características que la distinguen actualmente: a) la separación de residuos en vía pública, en condiciones riesgosas para su salud y b) el transporte en medios de tracción humana o animal. En consecuencia, mediante mecanismos financieros idóneos se dotará a las Organizaciones Autorizadas de recicladores de oficio, de una flota mecanizada apta para la recolección y transporte de material reciclaje, y se organizarán rutas específicas y exclusivas a cargo de cada organización. (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos, 2012)

2.8. FUNDAMENTOS DE EDUCACIÓN

A continuación se describen los conceptos de educación utilizados en este documento.

2.8.1. Definición de Didáctico

Según la Real Academia Española se tienen 4 definiciones de Didáctico o didáctica (Real Academia Española, 2013):

- Pertenece o relativo a la enseñanza.
- Propio, adecuado para enseñar o instruir.
- Propio, adecuado para enseñar o instruir.
- Arte de enseñar.

Teniendo en cuenta estas definiciones, se define que el modelo a desarrollar cumple con estos objetivos, los cuales son muy similares con los de una herramienta educativa, pero existen algunas diferencias que hacen referencia principalmente a la rigurosidad de los procesos educativos, por lo cual SIMWASTE no se define como herramienta educativa sino como una herramienta didáctica dentro de un entorno educativo como lo es un salón de clases con un docente a cargo de los estudiantes.

2.8.2. Educación en gestión de residuos sólidos domiciliarios

En Malasia, el gobierno gasta aproximadamente entre el 40% y 70% del dinero de los impuestos anualmente para la gestión de los residuos sólidos. Menos del 5% de estos residuos son reciclados a pesar de que más del 70% pueden ser reciclados de alguna manera. El objetivo de este estudio fue evaluar el conocimiento, actitudes, estados de conciencia y comportamientos de estudiantes de primer año (n = 589) por medio de una encuesta. Los resultados mostraron que el conocimiento en el tema era moderado. Por lo tanto es necesario fomentar mediante la educación y la concienciación sobre la gestión de residuos sólidos en el campus y el desarrollo de programas para promover el cambio de actitudes y prácticas ambientales sostenibles. (Desa, Kadir, & Yusoff, 2011)

Por medio de un estudio se evaluó el impacto de la aplicación de un programa de educación escolar sobre el conocimiento medioambiental de estudiantes, parientes, y profesores, analizando las actitudes y comportamientos. Estudiantes entre los 11 y 13 años de escuelas de primaria en Cracovia Polonia, participaron en el programa por un periodo de 4 meses y junto con sus padres y profesores fueron encuestados al final del programa. En términos generales, se encontró que al final de programa los conocimientos respecto a la GRS habían mejorado sustancialmente. La tercera parte de los estudiantes que participaron en el programa compartieron lo aprendido con sus padres y tuvieron mejoras en las prácticas sobre el manejo de residuos en sus casas (Grodzinska-Jurczak, Bartosiewicz, Twardowska, & Ballantyne, 2003)(Grodzinska-Jurczak, Bartosiewicz, Twardowska, & Ballantyne, 2003)

2.8.3. Ciclos de educación

La reorganización Curricular por Ciclos (RCC) y la transformación de la enseñanza para la garantía del derecho a una educación de calidad de los niños, niñas y jóvenes de Bogotá, que lidera la Secretaría de Educación de Bogotá desde el desarrollo del Plan Sectorial 2008-2'12 "Educación de Calidad para una Bogotá positiva" tiene su fundamento en la Constitución Nacional de 1991, la Ley 115 de 1994, el Movimiento Pedagógico Nacional de Fecode de 1982, las declaraciones del Foro Educativo Distrital 2009 sobre calidad y pertinencia de la educación (Clara López Obregón, 2008).

Ejes de desarrollo para cada ciclo

Se establecen a partir de la caracterización de los niños, niñas y jóvenes, Se establecen como las actividades rectoras que regulan el desarrollo del sujeto y el proceso de aprendizaje en cada uno de los ciclos.

Estos ejes posibilitan el diseño de estrategias pedagógicas en cada uno de los ciclos acorde con las necesidades y demandas de aprendizaje de los niños, niñas y jóvenes. Su desarrollo genera diferentes niveles de complejidad, lo que facilita el logro de los aprendizajes de los estudiantes al recorrer los cinco ciclos. Los cinco ciclos se presentan a continuación.

Ciclo	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto
Impronta del ciclo	Infancia y construcción de los sujetos	Cuerpo, creatividad y cultura	Interacción social y construcción de mundos posibles	Proyecto de vida	Proyecto profesional y laboral
Ejes de desarrollo	Estimulación y exploración	Descubrimiento y experiencia	Indagación y experimentación	Vocación y exploración profesional	Investigación y desarrollo de la cultura para el trabajo
Grados	Preescolar, 1° y 2°	3° y 4°	5°, 6° y 7°	8° y 9°	10° y 11°
Edades	3 a 8 años	8 a 10 años	10 a 12 años	12 a 15 años	15 a 17 años

Tabla 2: Características de cada ciclo de acuerdo con la perspectiva de desarrollo humano que reconoce la RCC.

Ciclos escogidos para aplicar la simulación como herramienta didáctica

La decisión de los ciclos de educación escogidos para la aplicación de la simulación como herramienta didáctica, se tomó a partir de una reunión que se realizó con un funcionario de la Secretaría de Educación Distrital y con nuestra asesora en Educación, quienes acordaron en que dadas las características de la simulación podría aplicarse en principio a usuarios que se encuentren en los ciclos de educación 2 y 3. Estos ciclos se explican a continuación.

Segundo ciclo

Este ciclo constituye un espacio que tiende a disminuir el fracaso escolar y la deserción del conocimiento, buscando mantener el sentido y el encanto que tiene el colegio para los niños y niñas del primer ciclo, y asegurando el paso del primer ciclo al segundo.

El segundo ciclo agrupa los niños y niñas en edades entre los 8 y 10 años. Estos niños centran su actividad académica en las relaciones y afectos; encuentran que lo valioso del colegio es la relación con sus compañeros, amigos y profesores, dando más valor a la amistad y al reconocimiento del otro.

Tercer ciclo

Es un ciclo con niños y niñas en edades entre 10 y 12 años, en transición de la niñez a la pre adolescencia. Esta etapa se caracteriza por fuertes cambios físicos, emocionales e intelectuales. En este período de vida los aprendizajes están orientados por la indagación y experimentación, los procesos que se desarrollan están anclados en las dinámicas de los niños y las niñas que comienzan a dominar las relaciones de proporcionalidad y de conversación, sistematizan operaciones concretas, las cuales no solo se refieren a objetos reales, sino que inician un camino hacia la fantasía y la construcción de mundos posibles.

3. PROCESO

Este proyecto fue desarrollado a partir de la definición de unas fases metodológicas las cuales se describen a continuación.

3.1. METODOLOGÍA PROPUESTA

Dado que este es un proyecto de investigación, fue necesario plantear una metodología para el proceso propuesto por el Método Científico con un enfoque para Ingeniería (González, 2012):



Figura 2: Metodología para proyecto de investigación en Ingeniería

A continuación se presentan las diferentes fases metodológicas con sus respectivas actividades realizadas.

3.1.1. Recopilación bibliográfica

- Realizar una reunión con experto en simulación de agentes simples para obtener la bibliografía recomendada sobre el tema.
- Seleccionar la bibliografía de apoyo sobre la simulación de agentes simples a partir de la recomendación del experto.

- Consultar con el experto las dudas generadas a partir de la información seleccionada.
- Realizar una búsqueda bibliográfica de apoyo respecto al manejo de la herramienta elegida para desarrollar el prototipo de simulación NetLogo.
- Realizar una reunión con experto en GIRSD para obtener la bibliografía recomendada sobre el tema.
- Seleccionar la bibliografía de apoyo sobre la GIRSD a partir de la recomendación del experto.
- Consultar con el experto las dudas generadas a partir de la información seleccionada.
- Visitar el sector que se eligió como caso de estudio: barrio El Bosque (Usme), con el fin de conocer los diferentes procesos involucrados en la gestión de residuos sólidos.
- Realizar la recolección de datos necesarios sobre el caso de estudio elegido para la realización de la validación.

A partir de las actividades mencionadas anteriormente, se logró establecer una base sólida de conocimiento para el correcto desarrollo de las fases metodológicas posteriores.

3.1.2. Diseño

Las actividades relacionadas con el diseño se realizaron de acuerdo al protocolo ODD (Volker Grimm, 2006) mencionado anteriormente:

- Definir el propósito del modelo.
- Definir las entidades, variables de estado y escalas del modelo tales como:
 - Agentes/individuos.
 - Unidades espaciales.
 - Entorno.
 - Grupos sociales.
- Realizar la descripción de los procesos y actividades del modelo.
- Definir los conceptos de diseño del modelo. Estos son:
 - Principios básicos
 - Adaptación de entidades
 - Objetivos de adaptación
 - Resultado (salida) esperado

- Detección
 - Interacción
 - Procesos estocásticos
 - Colectividad
 - Observación
- Describir el estado inicial del modelo, cuáles son las entidades que existen inicialmente en el modelo y qué valores de estado tienen estas entidades.
 - Especificar los datos de entrada del modelo como la información geográfica.
 - Definir los parámetros, las dimensiones, y los valores de referencia del modelo.

3.1.3. Construcción

- Realizar un análisis de requerimientos para medir el alcance del prototipo.
- Recopilación de información geográfica del barrio el Bosque, Usme.
- Desarrollo de las herramientas tipo filtro para la conversión de información geográfica e importación a la herramienta NETLOGO
- Implementar el prototipo funcional en NETLOGO del caso de estudio definido, a partir del modelo obtenido en la fase anterior.

3.1.4. Validación del prototipo

- Aplicar un plan de pruebas al prototipo para validar su funcionamiento con un experto en simulación de agentes.

3.2. DESARROLLO DEL PROYECTO

En la primera etapa del proyecto se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva en los temas de simulación basada en agentes y gestión de residuos sólidos. A partir de esta investigación se procedió a realizar una encuesta de caracterización en el barrio tomado como caso de estudio para así lograr identificar las propiedades más comunes en los residentes de esta comunidad. Para ver información detallada sobre las encuestas por favor dirigirse al anexo 2 “Encuesta de caracterización” ([Ver Sección 8 Anexos](#)).

Posteriormente, se realizaron varias reuniones con diferentes actores del sistema, tales como la representante de la asociación de recicladores (ASOBEUM) quien nos colaboró en la definición de material aprovechable que se genera en esta comunidad. También se realizaron reuniones con funcionarios de empresas del sector público involucrado dentro del proceso, tales como la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), la Unidad Especializada de Servicios Públicos (UASP), y

la Secretaría de Educación Distrital y que fueron recopiladas en el anexo 3 “Actas de Reunión”. Estas reuniones permitieron recibir retroalimentación por parte de los funcionarios que no atendieron, quienes mostraron gran interés en la simulación como herramienta pedagógica que podría ser usada en los colegios públicos de Bogotá.

Como resultado de estas reuniones fue posible establecer un documento de requerimientos que satisface las necesidades planteadas por “nuestros clientes” o personas involucradas, y que sirvió como carta de navegación para el proyecto.

Conjuntamente y como parte del paso a seguir, se desarrolló el modelo conceptual y una implementación básica del modelo simultáneamente, lo cual facilitó en gran medida la implementación final, pues ya se tenía mayor conocimiento en cuanto al lenguaje de programación, las propiedades, facilidades e inconvenientes de la plataforma.

A partir de las recomendaciones recibidas se procedió a realizar una implementación más completa y precisa del modelo en cuanto a la parametrización estática y las propiedades del modelo como herramienta educativa para niños en los ciclos de educación escogidos (1 y 2).

Además de las reuniones realizadas con los diferentes funcionarios públicos, se realizaron numerosas reuniones con los asesores en las diferentes áreas de conocimiento con quienes se tomaron igualmente decisiones críticas en la construcción del modelo desde los diferentes ángulos. Este proceso fue muy importante dado que hubo puntos en los que no había mutuo acuerdo entre las opiniones, por lo que fue necesario realizar cuadros de decisión teniendo en cuenta las ventajas y desventajas de las diferentes opciones existentes.

3.2.1. Desarrollo del prototipo

Este proceso fue uno de los más importantes en el desarrollo del trabajo, dado el impacto esperado que se tenía desde las diferentes áreas del conocimiento.

La primera implementación que se realizó, consta de una interfaz con características gráficas de un video juego tradicional. Pero no contaba con las propiedades de adaptación a la información geográfica las cuales son necesarias para poder implementar una herramienta genérica como se había planteado originalmente.

A continuación se muestra una imagen del prototipo logrado en esta primera implementación.

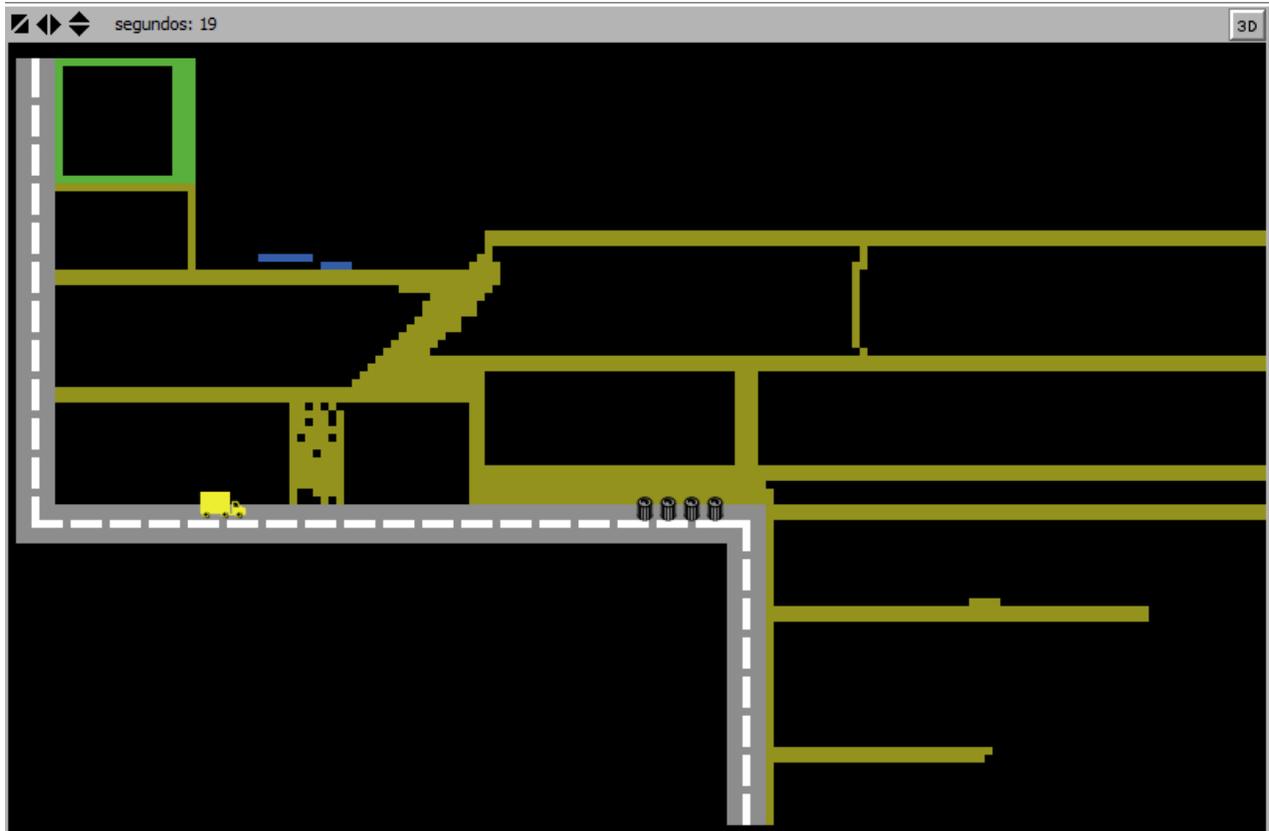


Figura 3: Primera implementación del modelo de simulación

El mundo de este modelo fue establecido con una herramienta adicional creada en Netlogo que permitía definir la configuración del mundo (un editor del mapa donde se podían definir el número y las características de cada uno de los agentes). Finalmente este editor generaba como salida un archivo .csv (por sus siglas en inglés comma-separated values) que servía como inicialización del mundo en la simulación.

Aunque este modelo no era eficiente y exacto en sus datos, motivo por el cual se descartó, si se rescató la implementación del editor de mapas que permitió agilidad a la hora que hacer pruebas y además la definición de un archivo con los datos de entrada para el modelo.

Simultáneamente se desarrolló un modelo basado en la información geográfica suministrada por PROSOFI donde se contaba con los vectores de las vías del barrio en archivos con extensión .shp. Como resultado se obtuvo un mapa preciso del sector, sin embargo, poco llamativo a los usuarios, lo que causo incertidumbre en cuanto a cuál de los dos modelos utilizar.

A continuación se presenta una imagen con la interfaz gráfica del segundo modelo planteado.

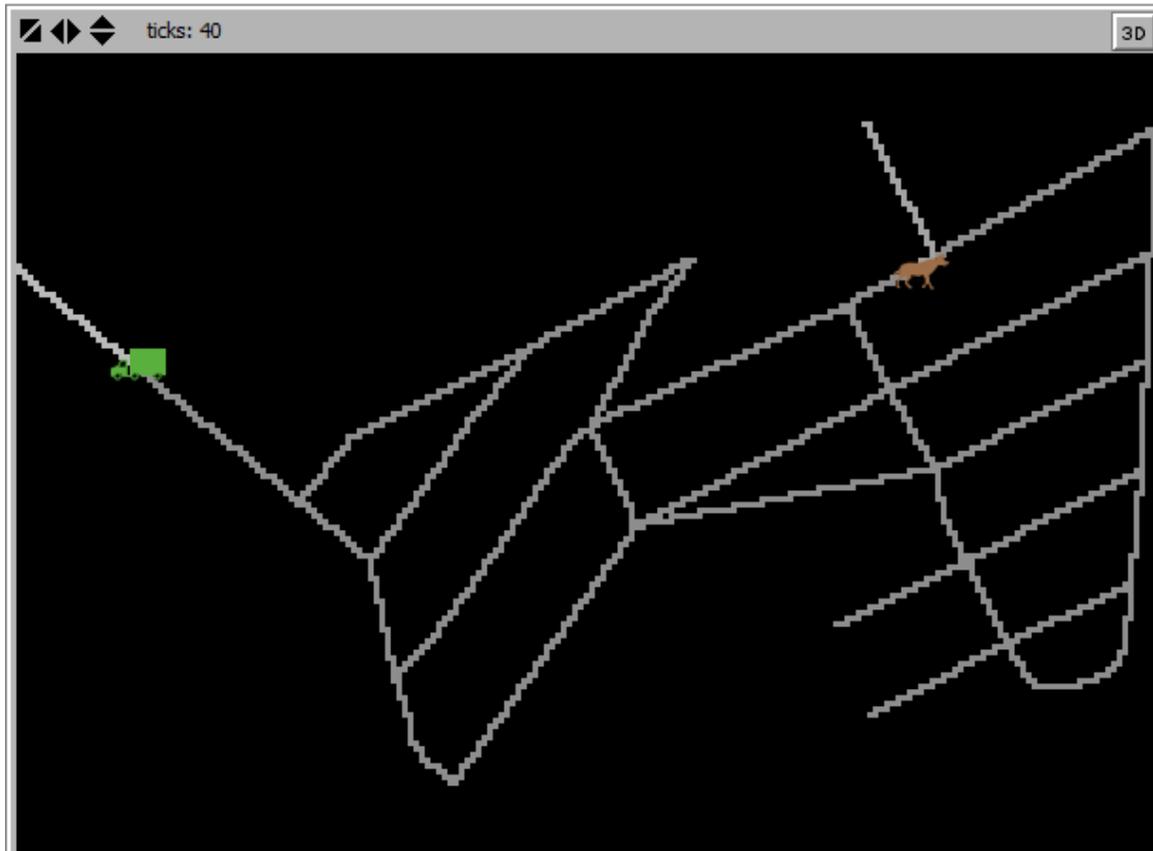


Figura 4: Segunda implementación del modelo de simulación

Como se puede apreciar en la imagen, la apariencia de la aplicación no es muy agradable y menos si el objetivo principal de la simulación es con fines didácticos para niños entre los 8 y 12 años. Pero este inconveniente se pudo resolver más adelante utilizando una capa de presentación donde se utiliza una imagen caricaturizada del barrio sobrepuesta con el fin de hacer la interfaz más agradable para el usuario final teniendo en cuenta las recomendaciones del experto en educación.

Aparte de las razones mencionadas anteriormente para la decisión tomada, se realizó una reunión con cada uno de los asesores en las diferentes áreas del conocimiento registrando las ventajas y desventajas desde cada punto de vista y un puntaje a cada prototipo planteado. A continuación se presenta el cuadro de decisión realizado al respecto.

Asesor	Modelo con vectores		Modelo dibujado	
	Comentarios	Calificación	Comentarios	Calificación

Oscar Chavarro	La información geográfica es precisa. Permite el uso de algoritmos complejos para el manejo de rutas	5	Es agradable para los usuarios. Puede generar problemas de desplazamiento de los agentes	2
Rafael González	Cumple la meta de toma de decisiones a largo plazo.	4	Más didáctico como herramienta educativa. Cumple la meta educativa a corto plazo.	3
Sandra Méndez	Posee más fundamento ingenieril.	4	Cuenta con las características de una herramienta educativa.	3
Mónica Brijaldo	Frio. Poco amigable. No hay puntos de referencia fácilmente identificables.	2	Muy cercano a los videojuegos tradicionales. Mayor reconocimiento del territorio.	5
TOTAL		15		13

Tabla 3: Tabla de decisión para el tipo de interfaz

Esta fue una de las decisiones más difíciles de tomar en todo el proceso, pues las opiniones estaban muy divididas y la decisión que se tomó al final se basó en los 2 puntos de diferencia que existían entre los dos modelos.

3.3. REFLEXIÓN METODOLÓGICA

Este proyecto se realizó a partir la planeación definida en la propuesta, donde se estableció una serie de actividades y entregables que permitirían su correcto desarrollo. Sin embargo, cuando se puso en marcha

el proyecto fue necesario realizar ajustes a las actividades en cuanto al tiempo y fecha de ejecución asignada.

La planeación realizada fue por fases, donde se definieron actividades las cuales se ejecutaban en tiempos cortos y secuencialmente. Esto restringía realizar en gran medida actividades en paralelo, lo que permitía que errores o retrasos en fases previas, se propagaran en fases posteriores. Por esta razón fue necesario reajustar la planeación de las actividades, en donde se les asignaba un mayor tiempo pero además se planificaban varias actividades en paralelo, lo que mejoró la sincronización y la consistencia entre actividades.

Estos cambios en la planeación permitieron un mayor control de algunos riesgos que se tenían debido al poco conocimiento en el tema, y a la falta de experiencia con la herramienta Netlogo. Estos cambios permitieron que hubiera una mayor verificación y calidad en las actividades que se iban desarrollando. Sin embargo, a pesar de los cambios que se realizaron en cuanto a ejecución de tareas, no existió ningún cambio en cuanto a los entregables establecidos originalmente.

Para visualizar mejor la comparación entre las estimaciones en el anteproyecto y lo que realmente sucedió en el proceso, se presenta a continuación una gráfica con los tiempos (en horas) en cada una de las fases metodológicas.

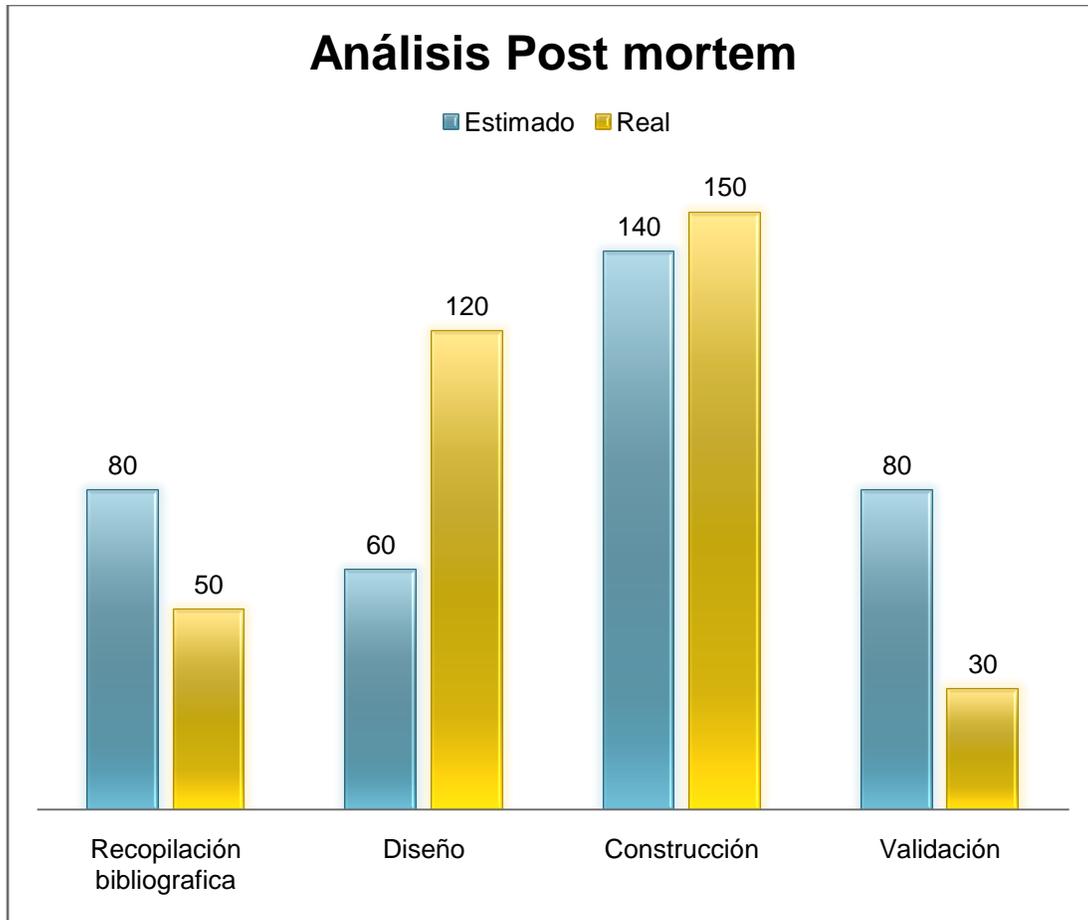


Figura 5: Análisis Post mortem

Es importante tener en cuenta que los tiempos del proceso real se obtuvieron de la bitácora que se realizó a lo largo de todo el trabajo en donde se registraron todas las actividades realizadas con fecha, tiempo (horas) y una breve descripción de cada actividad. Para ver la bitácora de actividades referirse al anexo 4 “Bitácora de actividades” ([Ver Sección 8 Anexos](#)).

4. RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados de este trabajo de grado se presentan a continuación los cuales incluyen el modelo conceptual y la validación de este por medio de un prototipo funcional. Luego se mencionan algunas recomendaciones a tener en cuenta para la mejora del trabajo desarrollado.

4.1. ENCUESTA DE CARACTERIZACIÓN

La primera actividad que se realizó con el fin de obtener mayor información sobre el sector tomado como caso de estudio y poder cumplir la fase de validación operacional del modelo, fue una encuesta realizada en el comedor comunitario del barrio a donde asisten madres de familia con sus hijos, lo que permitió obtener datos representativos para la caracterización de hogares en el sector.

Para ver el formato de la encuesta de caracterización referirse a los anexos de la encuesta de caracterización ([Ver Sección 8.Anexos](#)). A continuación se presentan los datos y los resultados de la muestra.

Datos de la muestra

N [tamaño del universo]	366
p [probabilidad de ocurrencia]	0.5
Nivel de Confianza (alfa)	90%
d [error máximo de estimación]	10%
TAMAÑO MUESTRA REPRESENTATIVA	57

Tabla 4: Datos de la muestra para la encuesta de caracterización

Los siguientes son los resultados obtenidos de la encuesta:

1. Número de personas por vivienda

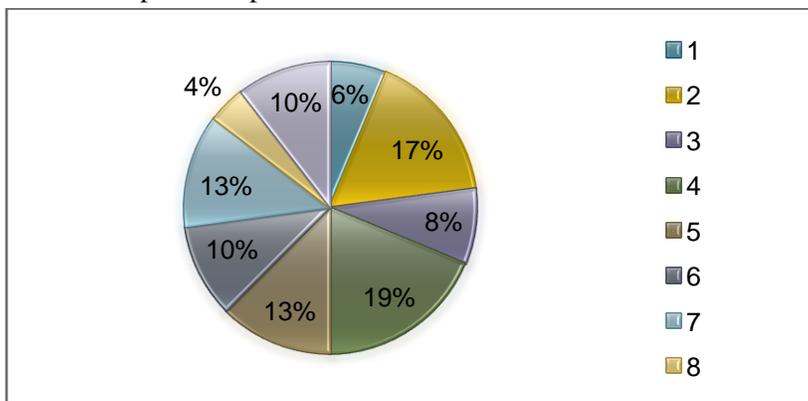


Figura 6: Personas por vivienda

2. Cantidad de residuos generados diariamente

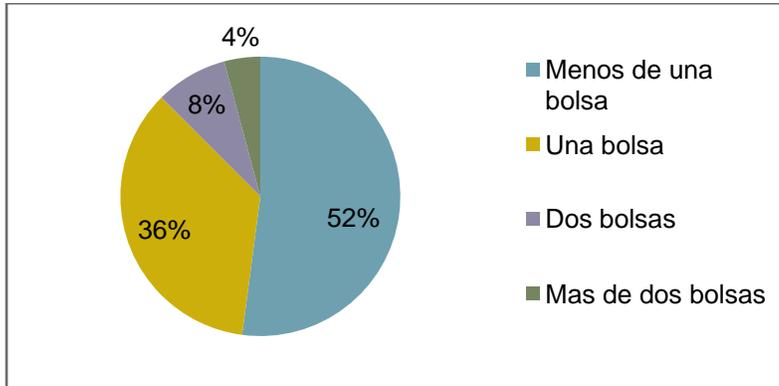


Figura 7: Bolsas generadas diariamente

3. El horario de recolección de residuos en el barrio es lunes, miércoles y viernes. No existe una hora fija de recolección.

4. El lugar de disposición de las bolsas para su recolección es sobre la avenida principal, pues únicamente por esta pasa el camión recolector.

5. Separación en origen

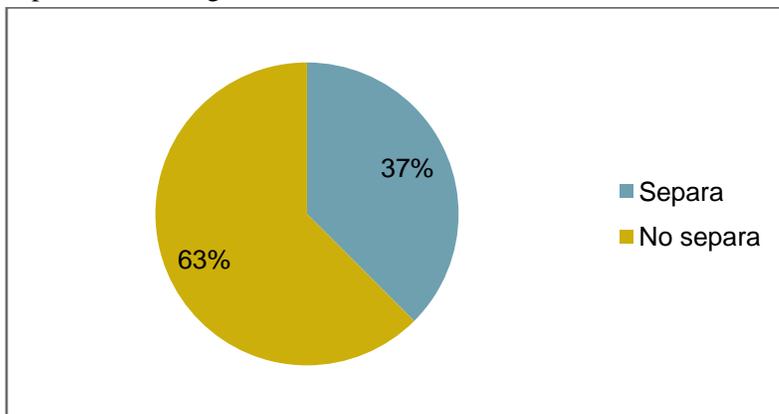


Figura 8: Viviendas que separan por tipo de residuo

6. Conocimiento acerca de la propuesta de bolsas blancas y negras para la separación de residuos

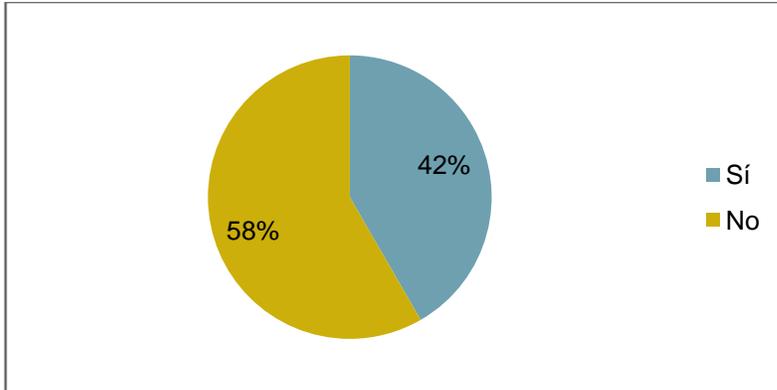


Figura 9: Conoce acerca de las bolsas blancas

7. Reconocimiento del reciclador del barrio

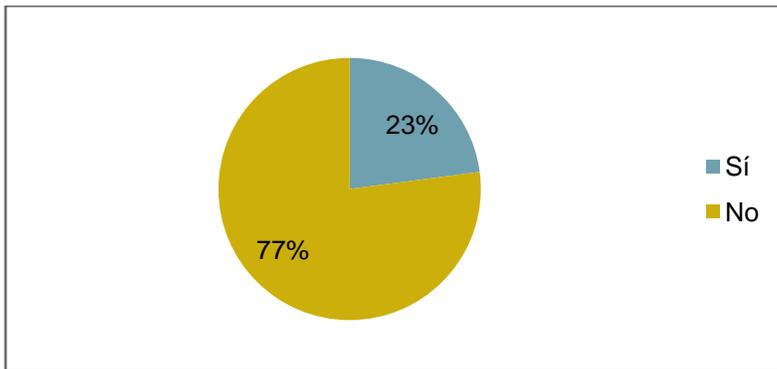


Figura 10: Reconoce al reciclador del barrio

Con respecto al horario de recolección de este, las personas que contestaron afirmativamente afirman que siempre pasa en las horas de la mañana, de 6am a 7am.

8. Existencia de perros callejeros en el barrio

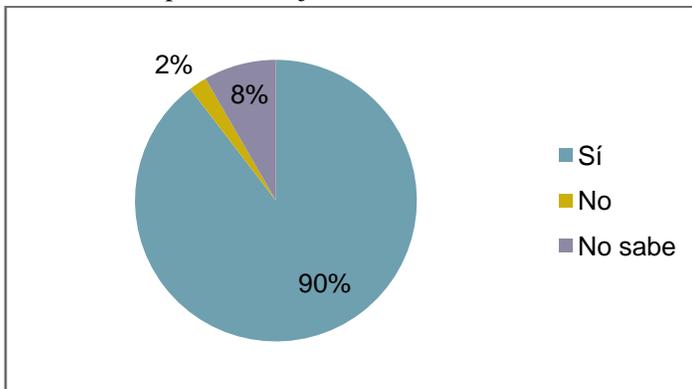


Figura 11: Percibe la existencia de perros callejeros

9. Conocimiento acerca del programa Basura Cero en Bogotá

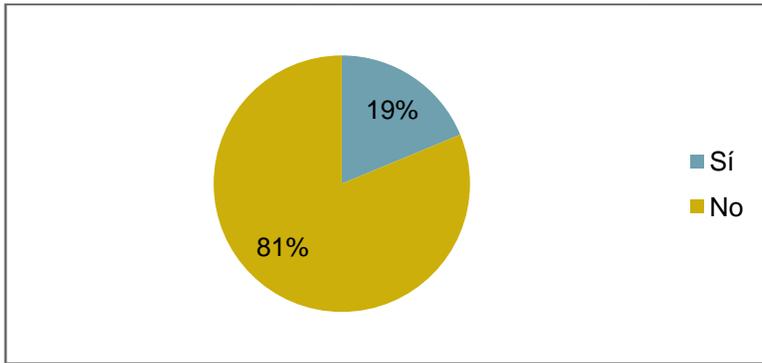


Figura 12: Conoce sobre Basura Cero

10. Manejo de residuos peligrosos

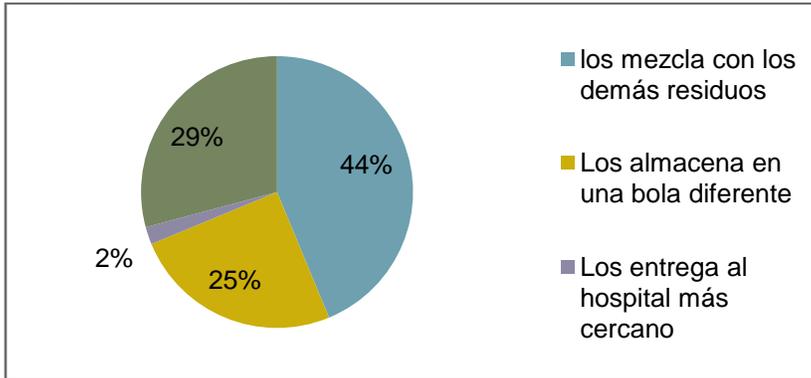


Figura 13: Manejo de residuos peligrosos

11. Existencia de vínculo con el Colegio Ofelia Uribe

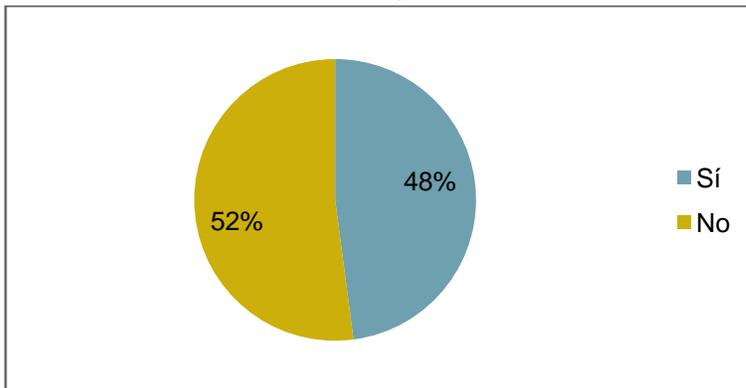


Figura 14: Existe vínculo con el colegio Ofelia Uribe

4.2. HERRAMIENTA INTRODUCTORIA

Una de las decisiones complicadas de tomar en todo este proceso se originó a partir de una limitación que apareció en cuanto al nivel de granularidad en el modelo, es decir, a qué nivel de acercamiento se iba a presentar el proceso de gestión de residuos. En principio se pensó mostrar tanto el proceso de separación en origen (hogares) y el proceso de recolección, todo en un mismo modelo. Pero dada la limitación espacial y dimensional que aparece dadas las características de resolución de los dispositivos en los cuales se va a utilizar la aplicación, fue necesario separar estos dos procesos y dejar el de separación de residuos en origen como una herramienta introductoria para que el usuario comprenda mejor el funcionamiento del modelo global.



Figura 15: Herramienta introductoria

4.3. MODELO CONCEPTUAL

El modelo de simulación fue desarrollado utilizando el protocolo ODD el cual se ha explicado en la sección de Marco Teórico. A continuación se define el modelo conceptual a partir de este protocolo.

4.3.1. ODD

4.3.1.1 Propósito

En la actualidad, la mayor parte de la población no tiene conciencia sobre el impacto que produce no realizar una correcta separación de los residuos desde la fuente, debido a que no se identifica con su entorno y además no ve las consecuencias que este puede tener en el ambiente. Esta idea equivocada, está siendo transmitida a las demás generaciones las cuales están adquiriendo y apropiando estos hábitos, bastante perjudiciales para la sociedad y el ambiente.

Este modelo muestra el impacto que tienen las decisiones que se toman a diario respecto al manejo de los residuos desde el hogar, y cómo a partir de diferentes escenarios donde varía el grado de separación de los residuos, se pueden generar cambios importantes en el entorno.

Este modelo simula la gestión de residuos sólidos domiciliarios, en donde se representa el proceso por los cuales atraviesan los residuos desde el momento que son generados dentro del hogar, en algunos casos, pasando por una separación según el tipo de residuo (residuos ordinarios, material potencialmente reutilizable y residuos peligrosos), hasta la disposición para la recolección por parte del agente responsable.

A continuación se presenta el orden de ejecución de los procesos.



Figura 7: Ejecución de procesos

4.3.1.2 Entidades, variables de estado y escalas

Aun cuando la esencia del modelo es la separación de los residuos desde el origen, a su alrededor también se ven involucradas diferentes entidades que puede hacer que esta separación cause o no un impacto significativo en el ambiente y en el entorno. Es por esta razón de a continuación se definen las entidades involucradas con sus variables respectivas que representan sus características, necesarias durante el proceso de implementación en la simulación.

Nombre	Descripción	Variables
--------	-------------	-----------

Persona	Genera los residuos en origen. Este agente es el encargado de llevar a cabo el procedimiento de separación y de disponer los residuos para su recolección	-Creencias -Intenciones
Bolsa negra	Agente que acumula los residuos ordinarios si estos no se usarán en proceso de compostaje.	-Capacidad máxima de la bolsa en Kg
Bolsa blanca	Agente que acumula material potencialmente reutilizable.	- Capacidad máxima de la bolsa en Kg
Bolsa roja	Agente que acumula los residuos peligrosos.	- Capacidad máxima de la bolsa en Kg
Camión recolector	Agente encargado de la recolección de las bolsas negras.	-Horario de recolección -Recorrido de recolección -Capacidad máxima de carga del camión en Kg
Reciclador	Agente encargado de la recolección de los residuos recuperables.	-Horario del recorrido -Recorrido de recolección -Capacidad máxima de carga del reciclador en Kg
Animal	Agente que deambula por las vías en busca de alimento.	
Predio	Entorno en el que vive cada persona y en el que se produce residuos.	
Barrio	Barrio de estrato 1 o 2 en Bogotá. Cada lote representa un predio del barrio.	

Tabla 5: Entidades, variables de estado y escalas

Un tick representa un segundo, sin embargo la simulación es asíncrona dado que la velocidad de los ticks es variable según la parametrización dada.

4.3.1.3 Procesos

Una vez identificadas las entidades involucradas en la gestión integral de residuos sólidos domiciliarios, es ahora necesario identificar los procesos que producen la interacción entre estas entidades y que permiten el desarrollo de la simulación de manera que se hagan evidentes los impactos que se producen a

través del tiempo. A continuación se describen los procesos involucrados junto con el responsable de realizarlo dentro del modelo y su forma en que afecta el entorno.

Proceso	Ejecutor	Descripción
Comenzar	Observador	Crea el escenario inicial y define los valores de cada una de las variables dependiendo los valores asignados en la inicialización y del caso de estudio que se esté modelando
Generar-residuos	Persona	Genera los residuos de una persona. Los tipos de residuos a generar (bolsa negra, blanca o roja) estarán dados dependiendo si la persona separa o no sus residuos.
Disponer	Persona	Cada cantidad de tiempo determinado, las personas disponen los residuos para su recolección de estos por el agente encargado.
Recolectar-bolsas-negras	Camión recolector	Este proceso se ejecutará de acuerdo a la hora determinada para cada camión, con el fin de hacer el recorrido que tenga definido y la recolección de los residuos a su paso.
Recolectar-bolsas-blancas	Reciclador	Este proceso se ejecutará de acuerdo a la hora determinada para cada reciclador, con el fin de hacer la recolección del material potencialmente reutilizable.
Destruir-bolsas-negras	Animal	Este proceso lo ejecuta cada agente perro que hay en la simulación. Cada vez que encuentra una bolsa negra en su camino decide si la destruye o no.

Tabla 6: Procesos

4.3.1.4 Conceptos de Diseño

4.3.1.4.1 Propiedades emergentes

Una característica importante de la simulación basada en agentes es el comportamiento global agregado del modelo producto de la dinámica e interacción entre los agentes, donde generalmente es la menos esperada y que finalmente genera unas salidas.

En este modelo, el resultado será la cantidad de bolsas blancas y negras generadas al final de la simulación. Estas cantidades varían según el comportamiento de los agentes persona, es decir, si se decide separar la cantidad de bolsas blancas aumenta y la cantidad de bolsas negras disminuye.

4.3.1.4.2 Especificación de los agentes

Agente persona

El agente persona está encargado de representar a las personas que disponen los residuos sólidos domiciliarios para su recolección. Son aquellas personas que llevan las bolsas de basura producidas desde su hogar, hasta el punto de recolección.

El agente persona es el agente con mayor relevancia en el modelo ya que es el quien genera los residuos, y toma las decisiones que afectan el sistema en mayor proporción. El comportamiento de este agente está dado por la definición de las siguientes decisiones:

- Separar residuos: Si el agente no separa los residuos, únicamente estará en la posibilidad de generar bolsas negras. Si el agente separa el material potencialmente reutilizable de los residuos ordinarios, este genera bolsas blancas y negras respectivamente. Finalmente si el agente separa los residuos peligrosos, también generara bolsas rojas.
- Disponer los residuos a la hora indicada: El agente debe conocer la hora de recolección del camión, por lo que debe decidir en qué momento pone en disposición los residuos para su recolección, antes de la hora en que el camión recolecta los residuos
- Disponer cada bolsa en el lugar indicado. El agente debe decidir en qué lugar dispone los residuos, de manera que el camión recolector pase por ahí y pueda recoger.

El objetivo de este agente busca maximizar U definida como la satisfacción que la persona tiene cuando separa los residuos. Está definido por una ecuación de utilidad que le permite evaluar sus opciones y tomar una decisión de acuerdo al beneficio generado, producto de la toma de esa decisión.

$$U = \sum_{i=0}^n Bb_i$$

- U : Valor a maximizar.
- Bb : Bolsas blancas generadas
- n : Cantidad de personas
- i : Personas que generan bolsas blancas

Este agente estará descrito usando el modelo BDI (Belief – Desire – Intention) (Jo & Einhorn, 2005) lo que permitirá definir su comportamiento, su entorno, y sus objetivos. De esta manera entonces se definirá una solución a una actividad en particular a la cual se esté enfrentando el agente durante el proceso de disponer los residuos sólidos domiciliarios.

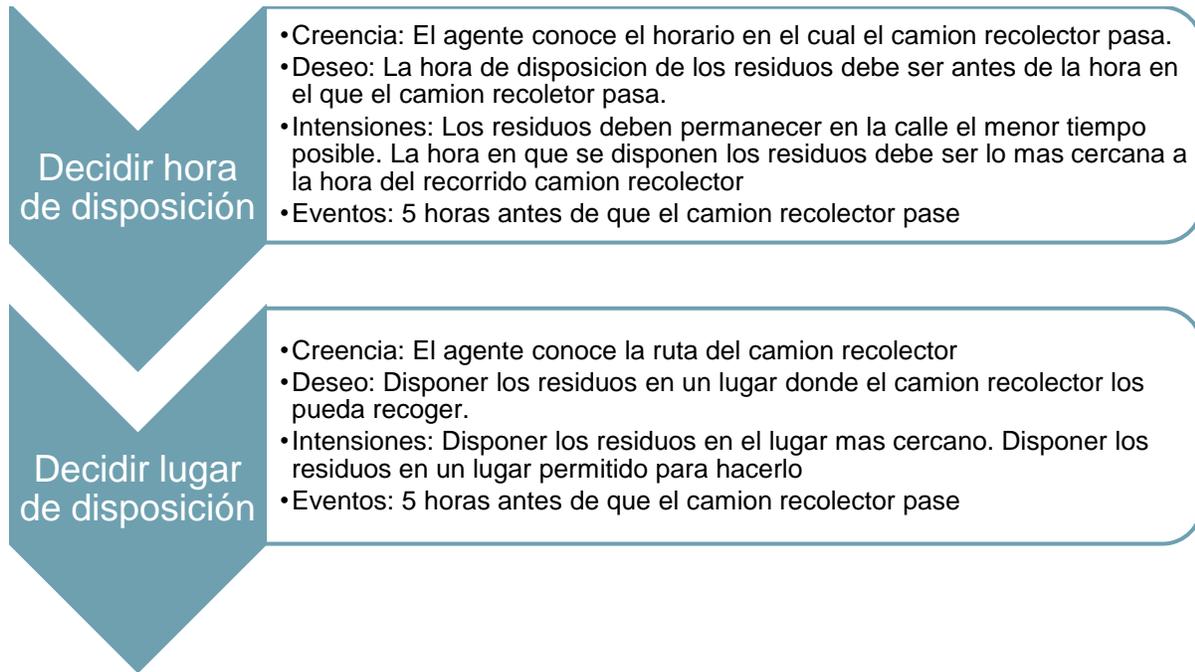


Figura 16: Decisiones de Agente Persona

Agente Reciclador

El agente reciclador está encargado de representar a los recicladores que se encuentran involucrados en la GIRSD de un barrio. Este estará encargado de recolectar el material potencialmente reutilizable que ha sido generado por el agente persona, y que ha puesto a disposición en bolsas blancas para su recolección.

De acuerdo al comportamiento que el agente reciclador, este tendrá la posibilidad de tomar las siguientes decisiones durante la simulación

- Elegir ruta de recolección: El agente reciclador no tendrá una ruta establecida, por lo cual, la ruta estará dada de acuerdo a la cantidad de bolsas blancas que hayan sido dispuestas, por esta razón el agente siempre intentara ir por la calle con mayor cantidad de bolsas blancas.

- Decidir hora de recolección: El horario del agente reciclador tampoco estará definido, por lo que será una decisión propia del agente, sin embargo, esta deberá estar ligada a la hora en que el camión recolector pase, ya que si es muy cercana, puede que el camión recolector pase primero y recolecte las bolsas blancas, pero si es muy lejana puede que no encuentre muchas bolsas blancas debido a que los agentes persona aun no la han puesto a su disposición.

El agente reciclador estará regido por una carga limite (un número máximo de bolsas blancas que es capaz de recolectar) la cual, en caso de cumplirla, obligara al agente terminar su recorrido de recolección de bolsas blancas. Sin embargo el agente también estará en la capacidad de, una vez vaya al centro de acopio en donde dejara el material recolectado, regresar y continuar su recolección.

Agente Camión Recolector

El agente Camión Recolector estará encargado de representar el camión recolector de basura de la ciudad. Este estará definido por un horario en el cual debe hacer la recolección, haciendo el recorrido establecido por la compañía y recolectando toda clase de residuos sólidos domiciliarios (que incluyen bolsas de cualquier tipo de color)

EL agente Camión Recolector recogerá todos los residuos sólidos que se encuentre a su paso durante el recorrido definido. Sin embargo, no será capaz que recolectar residuos que no estén sobre una de las vías programadas durante el recorrido.

Agente Animal

El agente Animal representará los animales callejeros que se identificaron a partir de la encuesta de caracterización como uno de los involucrados dentro de la GIRSD y que además es crítico en los sectores de estratos 1 y 2. Este agente influye en la simulación de manera maléfica, rompiendo las bolsas que los agentes Persona han dispuesto para su recolección, impidiendo que este proceso se realice.

Adaptación

- Ruta del recorrido
- Horario del Recorrido
- Abrir o no una bolsa (con mayor probabilidad una negra)
- Irse del barrio después de un tiempo determinado sin encontrar bolsas negras

4.3.1.4.3 Estocasticidad

La estocasticidad en el modelo constituye cierto nivel de aleatoriedad que permite que la simulación produzca resultados diferentes cada vez que esta se ejecuta, permitiendo evaluar diferentes escenarios. Esta aleatoriedad estará dada por la generación de números pseudoaleatorios, la cual además ya se encuentra implementada en la herramienta Netlogo (Railsback & Grimm, 2012).

En el modelo de simulación, la distribución $p(Y)$ se formula en términos de una función de forma genérica basada en la distribución Beta con un factor de escala basados en los descriptores de la población en estudio (Tucker & Smith, 1999).

$$p(Y) \propto \left(\frac{x}{\pi S}\right)^m \left(1 - \frac{x}{\pi S}\right)^n$$

- S : descriptores socio-demográficos
- X : unidad de escala (cantidad de bolsas generadas).
- m y n : parámetros fijos del modelo, estimados a partir de los datos recolectados en la encuesta de caracterización.

A continuación se describen las variables que mantendrán cierto grado de aleatoriedad específico:

- *Horarios de disposición de residuos*: Existe un rango de tiempo, pero el momento exacto es definido aleatoriamente.
- *Cantidad de bolsas generadas*: De acuerdo a la información obtenida en la encuesta de caracterización, puede generarse una bolsa o menos diariamente en cada vivienda. Como la recolección de residuos se realiza cada 2 días, entonces hay familias que generan 1 bolsa para disponer y hay otras que generan 2. En el segundo caso, el tipo de bolsa depende de la parametrización en cuanto a la cantidad de viviendas que deciden separar. El modelo asume una distribución Beta para la generación de residuos en las viviendas.
- *Ruta de recolección del agente reciclador*: La ruta que toma el reciclador depende de la cantidad de bolsas blancas que ve en determinada calle. En el caso en que no encuentre bolsas blancas en el camino, la decisión de la ruta se toma aleatoriamente cuando llega a un punto de convergencia de varias vías.
- *Horario de recolección del agente reciclador*: El horario de recolección del reciclador depende del horario de recolección del camión, es decir, el reciclador hace su recorrido en un rango de tiempo cercano y anterior al del horario del camión.
- *Recorrido del agente perro*: Tanto el horario y la ruta de este agente es totalmente aleatoria.

4.3.1.5 Inicialización

El estado del modelo al inicio de la simulación varía en algunos parámetros dados por el usuario, mientras que otros son constantes.

La inicialización de los parámetros de la simulación se realiza a partir de los datos reales del caso de estudio.

- *Cantidad y ubicación de personas:* La cantidad de personas estará dada por el número de casas que posea el caso de estudio que se modele, y su ubicación inicial será la ubicación geográfica de la casa de esa persona.
- *Cantidad y punto de inicio de camiones:* La cantidad de camiones estará dada por el número real de camiones que utiliza la compañía de aseo para la recolección de residuos en el sector del caso de estudio y su punto inicial será la calle de ingreso al área del caso de estudio según la ruta definida por la compañía.
- *Cantidad y punto de inicio de recicladores:* La cantidad de recicladores estará dada por el número aproximado de recicladores que existen en el sector del caso de estudio y su punto de inicio está dado por cualquier calle que permita el acceso al sector del caso de estudio
- *Horarios de recorrido de camiones y recicladores:* Los camiones recolectores y recicladores tendrán definida la hora en la cual deben realizar su recorrido.
- *Ruta de recolección de camiones:* Los camiones tendrán definida la ruta de recolección definida, según la ruta que la compañía ha definido en el sector del caso de estudio.
- *Cantidad de animales en las vías:* Esta variable será definida por el usuario e indica la cantidad de animales que aparecerán en la simulación a lo largo de su desarrollo.
- *Número de personas que separan:* Indica la cantidad de personas que separan los residuos de entre toda la población, y será definida por el usuario al comienzo de la simulación

4.3.1.6 Datos de Entrada

Los datos de entrada de la simulación estarán dados por un archivo formato .csv (comma-separated values) que contendrá la siguiente información:

- Con el fin de generar apropiación y reconocimiento del territorio por parte de los usuarios, este archivo contendrá información geográfica real del sector del caso de estudio, transformada para su uso en Netlogo a partir de los vectores de las calles proporcionados en un proyecto en el programa ArcGIS (usando extensiones .shp, .shx, .sbx, .sbn, .prj, sbf, .xml)

- Adicionalmente el archivo contendrá todos los valores de inicialización de las variables anteriores, exceptuando únicamente la cantidad de animales en las vías y el número de personas que separan las cuales podrán ser elegidas por el usuario al momento de comenzar la simulación

4.3.1.7 Submodelos

Hora de disposición de residuos: La hora en la cual las personas disponen los residuos define en gran parte el éxito o el fracaso del modelo ya que de esta dependen los demás agentes. El agente persona debe disponer los residuos de manera que cuando el camión realice su recorrido, estos ya se encuentre sobre la calle para ser recogidos. Además debe existir un tiempo suficiente que le permita al agente reciclador hacer su recorrido recolectando el material potencialmente reutilizable, antes de que el camión la recoja. Finalmente es importante que los residuos permanezcan en la calle el menor tiempo posible para evitar que un agente animal llegue y destruya la bolsa con los residuos impidiendo su recolección. El agente persona debe calcular el momento el cual debe sacar la basura teniendo en cuenta estas variables, sin embargo el cálculo debe ser aleatorio, con el fin de mantener la estocasticidad del modelo

Lugar de disposición de residuos: Es necesario que el agente persona elija el lugar de disposición de los residuos, de tal manera que el camión tenga acceso y se encuentre dentro de su ruta de recorrido para que pueda recolectarla. El agente debe calcular este lugar a partir de la posición en la que se encuentra, buscando el lugar más cerca (teniendo en cuenta que en la vida real las personas tienden a caminar la menor distancia posible para disponer sus residuos). Una vez elegido el lugar donde se hará la disposición de los residuos, el agente busca el camino más cerca, evaluando las posibles rutas que podría utilizar para desplazarse al lugar y hacer la disposición

4.4. PROTOTIPO FUNCIONAL

Una vez se decidió utilizar el segundo modelo planteado, se procedió a implementar el resto de este modelo, los agentes y sus atributos a partir de los requerimientos definidos a continuación.

Id	Nombre	Descripción	Prioridad	Clasificación	Versión	Estado
RNF	El sistema debe estar alojado en una máquina que cumpla unos requerimientos mínimos.	El sistema requiere una máquina con sistema operativo Windows XP o superior y con Java 5 o superior, 200 MB libres en el disco duro, 512 KB de RAM disponible	Alta	Máquina	1.0	Definido

		y 1 GHz de procesador.				
RNF	El sistema debe estar dirigido a usuarios entre 6 y 10 años de edad	El sistema debe proveer una interfaz grafica y un lenguaje para usuarios entre 6 y 10 años que se encuentran en los ciclos educativos primero y segundo	Medio	Educacion	1.0	Implementado
RNF	El modelo del sistema debe ser basado en agentes	El modelo del sistema debe ser definido para que pueda ser implementado a traves de agentes simples	Alto	Simulacion	1.0	Validado
RNF	El sistema debe ser desarrollado en la plataforma netlogo	El sistema debe ser implementado en la plataforma de software Netlogo, la cual es orientada a simulación basada en agentes, y su objetivo es educativo y científico	Medio	Simulacion	1.0	Validado
RF	El sistema debe simular los agentes involucrados en la gestión de residuos sólidos domiciliarios en el sector del caso de estudio	El sistema debe simular los agentes "Persona", "Reciclador", "Camión Recolector" y "Perro" identificados en la GIRSD en el sector del caso de estudio barrio El Bosque, Usme.	Alto	Simulación	1.0	Validado
RF	El sistema debe simular el movimiento de los agentes sobre las vías que actualmente posee el sector del caso de estudio	El sistema debe permitir el desplazamiento de los agentes durante la simulación únicamente sobre las vías que existen en el sector del	Alto	Simulación	1.0	Implementado

		caso de estudio				
RF	El sistema debe mostrar el mapa a escala del sector del caso de estudio	El sistema debe ser capaz de cargar un mapa del sector del caso de estudio a partir de un archivo con extensión .png	Bajo	Interfaz Grafica	1.0	Implementado
RF	El sistema debe mostrar las vías que actualmente posee el sector del caso de estudio	El sistema debe cargar las vías que posee el sector del caso de estudio actualmente, a partir de un archivo contenedor de los vectores que las representan con extensión .shp	Alto	Interfaz Grafica	1.0	Implementado
RF	El sistema debe mostrar las entidades involucradas en el gestión de residuos sólidos domiciliarios que posee el sector del caso de estudio	El sistema debe representar los Residuos ordinarios, reciclables y peligros, los cuales son los principales involucrados en la GIRSD	Medio	Interfaz Grafica	1.0	Implementado
RF	El sistema debe representar el material potencialmente reutilizable por medio una bolsa blanca	La convención a usar para representar el material potencialmente reutilizable debe ser una bolsa blanca	Alto	Interfaz Gráfica	1.0	Implementado
RF	El sistema debe representar los residuos ordinarios por medio una bolsa negra	La convención a usar para representar los residuos ordinarios debe ser una bolsa negra	Alto	Interfaz Gráfica	1.0	Implementado
RF	El sistema debe representar los residuos peligroso por medio una bolsa roja	La convención a usar para representar los residuos peligrosos debe ser una bolsa roja	Alto	Interfaz Gráfica	1.0	Implementado

RF	El sistema debe permitir diferenciar las personas que separan de las que no	El sistema debe representar las personas que separan sus residuos con el color verde, y las personas que no separan con el color rojo	Medio	Interfaz Gráfica	1.0	Implementado
RF	El sistema debe permitir elegir al usuario el porcentaje de la población que realiza separación de material potencialmente reutilizable	El usuario debe poder elegir el porcentaje de la población que separa el material potencialmente reutilizable en bolsas blancas	Medio	Datos de E/S	1.0	Implementado
RF	El sistema debe permitir elegir al usuario el porcentaje de la población que realiza separación de residuos peligrosos	El usuario debe poder elegir el porcentaje de la población que separa los residuos peligrosos en bolsas rojas	Medio		1.0	Definido
RF	El sistema debe permitir elegir el nivel de separación de los residuos.	El usuario debe estar en la capacidad de elegir el número de personas de la población que separan sus residuos		Datos de E/S	1.0	Implementado

A partir de los requerimientos definidos se realiza la implementación del modelo. Esta última implementación se evidencia a continuación.



Figura 17: Prototipo funcional

4.4.1. Descripción del prototipo

A continuación se describe brevemente cada característica del prototipo funcional final.

- Barra “Separan”: permite al usuario definir la cantidad de personas que separan en todo el barrio.
- Barra “Color_Reciclador”: permite al usuario definir el color del agente reciclador durante la ejecución de sus tareas.
- Barra “Color_Camion”: permite al usuario definir el color del agente camión durante la ejecución de sus tareas.
- Botón “Comenzar”: inicializa la simulación. Configura todas las variables con sus valores iniciales respectivos.
- Botón: “Jugar!”: ejecuta la simulación.
- Botón “Hay perros?”: Coloca un agente perro en un lugar aleatorio de las vías. Se pueden crear cuantos perros el usuario desee.
- Monitor “Bolsas blancas recolectadas”: permite llevar el conteo de las bolsas blancas recolectadas por el agente reciclador.
- Monitor “Bolsas negras recolectadas”: permite llevar el conteo de las bolsas negras recolectadas por el agente reciclador.

- Monitor “Bolsas negras destruidas”: permite llevar el conteo de las bolsas negras destruidas por los animales.
- Agente Camión y Agente Reciclador: tanto el camión como el reciclador tienen una hora fija de recolección; el reciclador pasa a las 7am y el camión pasa a las 8am, esto teniendo en cuenta las recomendaciones del experto en gestión de residuos. El algoritmo que se utilizó para el desplazamiento de los agentes se describe en la siguiente sub sección. El agente reciclador tiene dentro de sus tareas recoger solamente las bolsas blancas que encuentre durante su recorrido, y el agente camión recoge solamente las bolsas negras. El usuario puede elegir el color tanto del reciclador como del camión con las barras de selección “Color_Reciclador” y “Color_Camion” respectivamente.
- Agente Persona: la cantidad de personas que deciden separar es definida por el usuario por medio de la barra “Separan”; una vez el usuario ha definido esta cantidad, da click en el botón “Comenzar” y los agentes que separan cambian su color a verde, mientras que aquellos que no separan quedan de color rojo.
- Agente Animal: camina de forma aleatoria por la avenida principal del barrio y destruye una cantidad aleatoria de bolsas negras que encuentra en su recorrido.
- Agente Caneca Blanca y gente Caneca Negra: en cada punto de salida del barrio a la avenida principal las personas disponen sus bolsas de cada color respectivamente.
- Imagen de fondo: para hacer la simulación más llamativa para los usuarios finales, se tomó una imagen desde Google Earth (Google, 2013) con el barrio de estudio, se caricaturizó con una herramienta de uso libre llamada BeFunky (BeFunky, 2013) y se colocó como fondo de la simulación.

4.4.2. Descripción de algoritmos del prototipo

A continuación se describen los principales algoritmos usados en la implementación del prototipo:

Algoritmo de carga de mapas

Los mapas del sector del caso de estudio fueron cargados a la simulación usando la librería de información geográfica GIS, lo que permitió visualizar los vectores de las calles en el mundo de la simulación. Sin embargo, la librería no adiciona la funcionalidad que los agentes se desplacen por los vectores. Para ello, fue necesario generar un algoritmo que adicional a cargar los vectores a la simulación, permitiera generar una especie de sombra sobre los parcelas para permitir que los agentes de desplazaran sobre ellos. Para esto se generó un algoritmo que permitía preguntarle a cada parcela de la simulación, si se encontraba bajo un vector (vector que representa una vía en el mundo real), y de ser así, le diera un color diferente que lo distinguiera de los demás. Como resultado, todos los parcelas bajo el vector tenían

un color diferente que representaba una vía, formando una línea sobre la cual los agentes eran capaces de desplazarse.

Algoritmo de desplazamiento de agentes

Debido a que las vías estaban representadas por un conjunto de parcelas de un color determinado que las distinguía, era necesario indicar a los agentes que se movieran únicamente en estas direcciones. Dado que además en algunos puntos, las vías tenían intersecciones, un agente debía elegir uno de entre varios posibles caminos. Para esto, se hizo uso de las vecindades de orden 1 y 2 en una grilla cuadrada donde cada parcela tiene 8 vecinos. En NetLogo estas parcelas se llaman “neighbors” y “neighbors4”, las cuales permiten identificar las parcelas vecinas a una parcela específica (la parcela sobre la cual se encontraba el agente en ese momento). De esta manera se identificaban las parcelas a las cuales era posible desplazarse. Cada agente persona posee un objetivo que es un lugar en el mundo al cual desea llegar. Así entonces, el agente evalúa cuál de las parcelas a las que tiene la posibilidad de desplazarse, se encontraba más cerca de su objetivo para luego desplazarse. Para evitar que agentes sin objetivo se desplazaran a la parcela por la cual habían llegado, fue necesario que cada agente mantuviera una lista de las parcelas visitadas, validando que al momento de desplazarse a una parcela determinada, ésta aún no estuviera dentro de su lista de parcelas visitadas. Finalmente se desplazaba y la agregaba a su lista de parcelas visitadas.

A continuación se muestra el algoritmo implementado en lenguaje NetLogo para el desplazamiento de los agentes.

Precondición:

- El agente está en una parcela de la grilla.

Pos condición:

- El agente se mueve a una parcela válida sobre el camino.

Algoritmo

```
// se crea una lista con los vecinos de orden 1 del agente con los parámetros definidos.  
  set t neighbors4 with [not member? self [lista] of myself and pcolor = 43]  
// indica la parcela de “t” la cual está más cercana a la bolsa objetivo.  
  let target min-one-of t [distance min-one-of bolsasN [distance myself]]  
// si no tiene un objetivo definido aún crea una lista con los vecinos de orden 2 del agente con los  
parámetros definidos.  
  ifelse target = nobody [  
    set t neighbors with [not member? self [lista] of myself and pcolor = 43]  
    set target min-one-of t [distance min-one-of bolsasN [distance myself] ]  
// Va a su parcela objetivo y realiza sus tareas
```

```
    move-to target
// agrega la parcela visitada a la lista
    set lista fput patch-here lista
```

5. VALIDACIÓN

Dado que un modelo de simulación atraviesa varios procesos durante su construcción, es necesario validar cada uno de estos pasos con el fin de asegurar el cumplimiento de los objetivos del modelo.

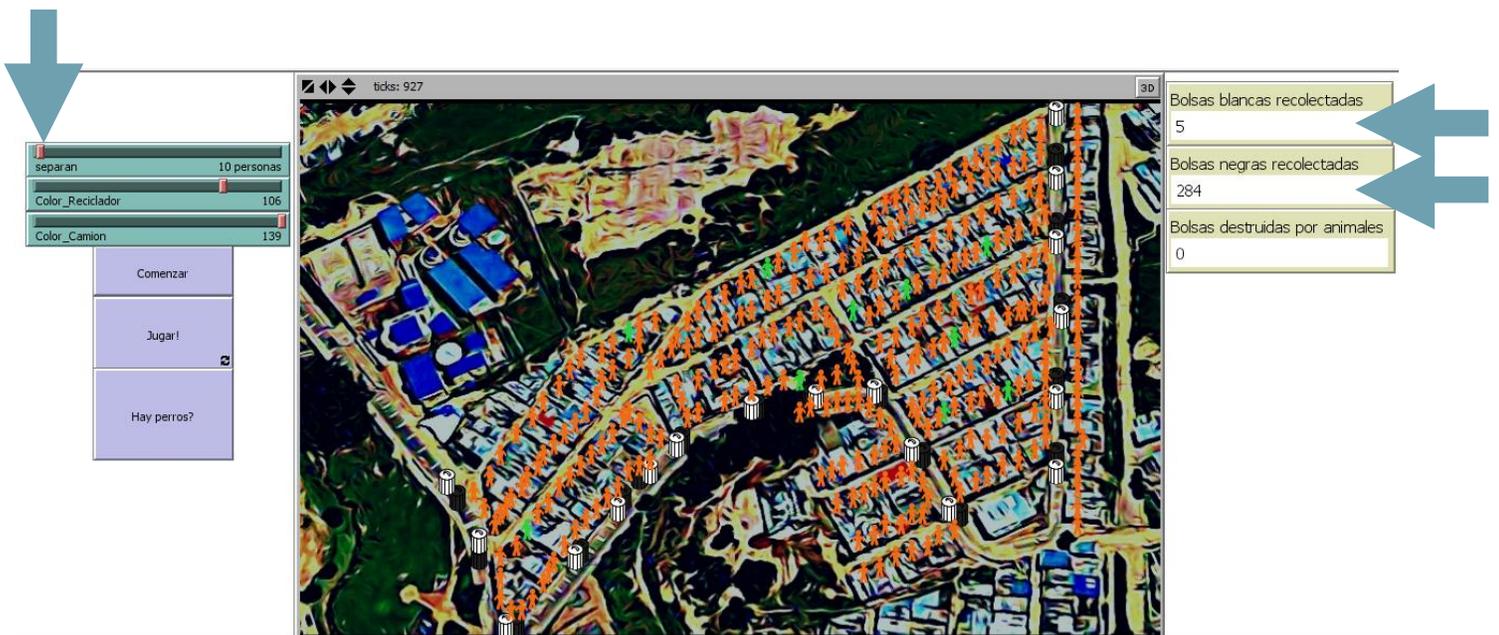
5.1. Pruebas al prototipo

Una vez se realizó la última versión del prototipo funcional, se procedió a realizar una fase de pruebas sobre este para validar los resultados que este arrojaba en diferentes situaciones dadas donde se evidencia la cantidad de residuos que terminan siendo desperdiciados y aprovechados. A continuación se presentan imágenes de las diferentes situaciones que se tuvieron en cuenta para este proceso.

Situación 1: Ninguna persona separa los residuos



En el tick 927, cuando ya ha pasado el reciclador y el camión recolector, se tienen 291 bolsas negras recolectadas, 0 bolsas blancas recolectadas y 0 bolsas destruidas por animales. Se puede ver la barra “separan” con 0 personas.

Situación 2: 10 personas separan los residuos

En el tick 927, cuando ya ha pasado el reciclador y el camión recolector, se tienen 284 bolsas negras recolectadas, 5 bolsas blancas recolectadas y 0 bolsas destruidas por animales. Se puede ver la barra “separan” con 10 personas.

Situación 3: 100 personas separan en origen y aparece un animal

En el tick 928, cuando ya ha pasado el reciclador y el camión recolector, se tienen 247 bolsas negras recolectadas, 42 bolsas blancas recolectadas y 1 bolsa destruida por animales. Se puede ver la barra “separan” con 100 personas.

Situación 4: Todas las personas separan



En el tick 927, cuando ya ha pasado el reciclador y el camión recolector, se tienen 148 bolsas negras recolectadas, 154 bolsas blancas recolectadas y 0 bolsas destruidas por animales. Se puede ver la barra “separan” con 322 personas.

A continuación se presenta una tabla con los resultados de todas las pruebas realizadas al prototipo.

Prueba	# Personas que separan	# Perros	Bolsas blancas recolectadas	Bolsas negras recolectadas	Bolsas negras destruidas
1	0	0	0	291	0
2	0	2	0	286	5
3	10	0	5	289	0
4	10	2	5	279	10
5	50	0	20	258	0
6	50	1	20	274	1
7	100	0	42	228	0
8	100	3	42	208	20
9	150	0	67	202	0
10	150	2	67	188	14

11	200	0	93	196	0
12	200	1	93	174	22
13	250	0	131	165	0
14	250	3	131	150	15
15	300	0	146	152	0
16	300	2	146	141	11
17	322	0	154	148	0
18	322	1	154	140	8

Tabla 7: Pruebas al prototipo

A partir de esta serie de pruebas sobre el prototipo, se puede evidenciar la diferencia que existen entre los diferentes escenarios propuestos, en cuanto a la cantidad de bolsas generadas de cada color, entre más personas separen sus residuos, menor cantidad de bolsas negras se producen, y entre mayor cantidad de animales callejeros existan, menos bolsas negras serán recolectadas por el camión.

5.2. Validación del modelo conceptual

Dado que el asesor en la parte de simulación basada en agentes fue el Ingeniero Rafael González, se decidió que lo más conveniente era realizar la validación del modelo propuesto con él mismo, pues muchas decisiones al respecto se tomaron teniendo en cuenta sus recomendaciones. La carta de validación del modelo se puede encontrar en el anexo 5 “Validación del modelo por experto en Simulación Basada en Agentes”

5.3. Validación del prototipo

La validación del prototipo tiene dos fases las cuales se describen a continuación:

Primera fase

La primera fase fue realizar una última reunión con la Ingeniera Sandra Méndez, asesora en la parte de Gestión Integral de Residuos, quien validó que el orden de los procesos estuviera debidamente ejecutado en la simulación. La carta de validación del prototipo en cuanto a la GIRS se puede encontrar en el anexo 6 “Validación del prototipo por experto en Gestión de Residuos Sólidos”.

Segunda fase

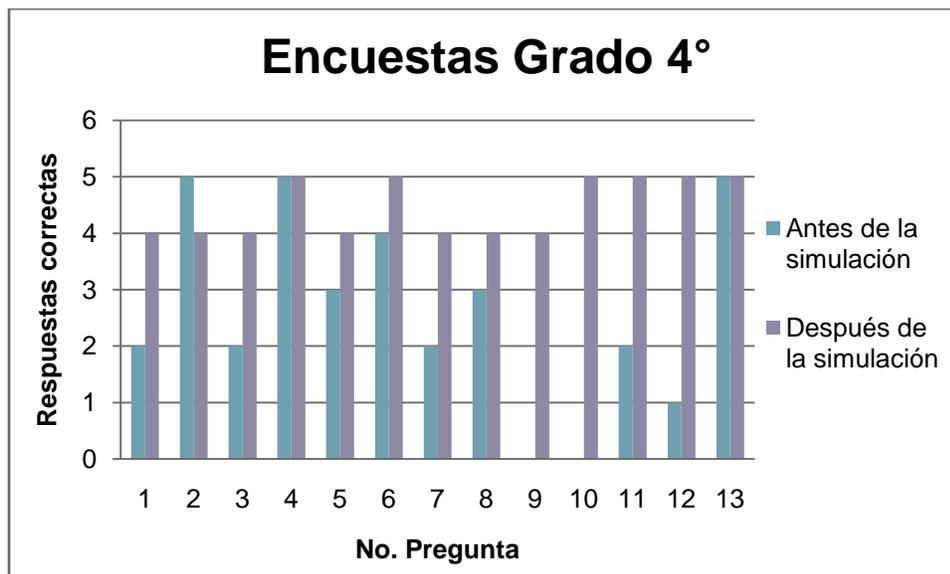
La segunda fase fue realizar una última reunión con la funcionaria de la UAESP quien ha estado presente durante todo el proceso, la asesora de dirección general Nohora Usme, quien realizó una serie de recomendaciones para trabajos futuros con el resultado obtenido en este trabajo de grado. La carta de validación del prototipo en cuanto a la utilidad del prototipo y el trabajo futuro recomendado se puede encontrar en el anexo 7 “Validación del prototipo por funcionario de la UAESP”.

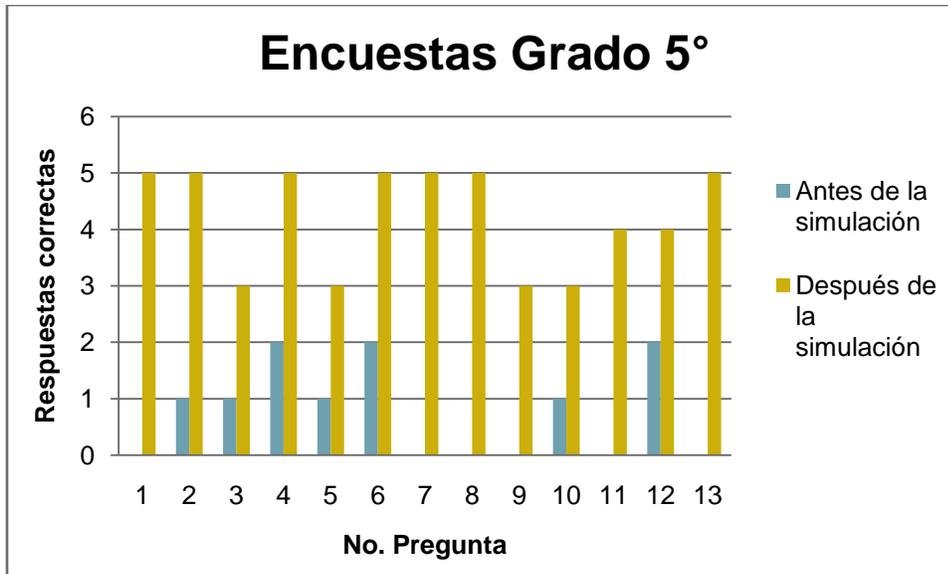
5.4. Validación con usuarios finales

Para realizar la validación con los usuarios finales, se le realizó un test a 10 estudiantes (5 de grado 4^{to} y 5 de grado 5^{to}) del Colegio Ofelia Uribe localizado en el barrio El Bosque en la localidad de Usme. El test estuvo compuesto de dos partes, una antes y una después de la ejecución del prototipo, con el fin de verificar el impacto de la herramienta en el conocimiento sobre la separación de los residuos.

Análisis de resultados

A partir de los datos obtenidos en las encuestas, se procede a realizar un análisis de los resultados obtenidos con los cuales se evidencia el impacto que produce la aplicación de la simulación como herramienta didáctica para la población objetivo.





De acuerdo a los resultados obtenidos con esta prueba piloto, se puede concluir que la simulación sirve en la mayoría de los casos para enseñarle al usuario cuál debe ser el proceso integral sobre la gestión de residuos, pues los resultados antes de las pruebas mostraban un conocimiento mínimo al respecto, y las pruebas después de aplicar la simulación permiten validar su utilidad para mejorar estos conocimientos. El test y los datos obtenidos se encuentran en el anexo 8 “Validación con usuarios finales”.

6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

6.1. CONCLUSIONES

A partir de los objetivos que se plantearon para el desarrollo de este trabajo de grado, se obtiene una serie de conclusiones en las cuales se refleja la culminación exitosa de este proyecto.

- A partir de los resultados obtenidos en la validación con el usuario final y el constante trabajo de campo realizado, se concluye que SIMWASTE genera un impacto en una comunidad determinada promoviendo la gestión integral de residuos sólidos domiciliarios.
- NetLogo es una herramienta para la implementación de simulación basada en agente de fácil aprendizaje, interactiva, y con suficiente documentación y soporte, lo que le permitió realizar implementaciones con mayor agilidad.
- Fue enriquecedor conocer un lenguaje de programación orientado a modelos de simulación basados en agentes. En su mayoría, es declarativo y tiende a ser intuitivo en sus instrucciones básicas, sin embargo, cuando es necesario implementar algoritmos complejos, puede ser algo difuso y tedioso.
- La validación con los expertos en las diferentes áreas del conocimiento permitió asegurar el cumplimiento de los objetivos planteados en este proyecto.
- A partir de las reuniones realizadas con los funcionarios de las diferentes instituciones estatales como la UAESP EAAB y ASOBEUM, se logró enriquecer el modelo con la información de los diferentes procesos en la gestión de residuos sólidos que estas entidades poseen.

6.2. RECOMENDACIONES

A continuación se presentan algunas recomendaciones que podrían permitir mejorar los resultados obtenidos en la investigación:

- La simulación basada en agentes puede llegar a ser muy compleja y poderosa, por lo que se recomienda continuar en un futuro en búsqueda de mejores resultados. Con una calibración del modelo a partir de datos más precisos de los que fueron obtenidos a través de la encuesta de caracterización, podría permitir que el modelo brindara datos más confiables y cercanos a la realidad.
- NetLogo posee limitaciones en cuanto a su interfaz gráfica, por lo cual no se recomienda a la hora de desarrollar una simulación con fines didácticos, dado que no permite la importación de imágenes para crear agentes con imágenes diferentes a las definidas por NetLogo y los mensajes de usuario tampoco son personalizables.

- NetLogo cuenta con una extensión llamada GraphStream, la cual permite exportar grafos creados con agentes de NetLogo al Framework de Eclipse Java, con el fin de aplicar algoritmos ya implementados a estos grafos y devolver los grafos modificados con estos algoritmos aplicados a NetLogo. Se recomienda tener en cuenta esta librería para realizar una implementación más compleja del modelo planteado. Esto se puede tener en cuenta para realizar una simulación para la toma de decisiones por parte de las entidades competentes.

6.3. TRABAJO FUTURO

Dadas las limitantes de tiempo que se tuvieron para la realización de este trabajo, no fue posible tener en cuenta algunas características de un modelo de simulación complejo en el cual se evidencien los comportamientos de los agentes en todas las situaciones posibles. En principio la finalidad de esta simulación era desarrollar una herramienta para la toma de decisiones por parte de funcionarios del área competente, pero dadas estas limitaciones fue necesario acortar el alcance de este trabajo reduciéndola a una herramienta pedagógica.

Los siguientes son algunas actividades de trabajos futuros que permitirían un mayor campo de trabajo y análisis del modelo

- Incluir dentro del modelo de simulación una errónea separación de residuos en la fuente y su impacto en el sistema macro.
- Incluir dentro del modelo algoritmos de decisión en rutas óptimas para la recolección de residuos por parte de los camiones recolectores.
- Complementar el modelo, de manera que permita mostrar el comportamiento que poseen las personas que no separan sus residuos, cuando se encuentran alrededor de personas que si lo hacen.
- Continuar la implementación del prototipo SIMWASTE, pero teniendo en cuenta una calibración del modelo con datos más cercanos a la realidad.
- Implementar el modelo en una plataforma de simulación basada en agentes que permita mayor flexibilidad y proponga soluciones a las limitaciones de NetLogo.
- Con el fin de medir el impacto que podría tener la herramienta en los usuarios finales, sería necesario realizar una prueba piloto en un colegio donde, con la ayuda de expertos en el tema y de una forma más detallada que la realizada en la validación con los usuarios finales, fuera posible medir el aprendizaje real que obtienen los estudiantes sobre la correcta gestión de los residuos sólidos al usar la herramienta.

7. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

REFERENCIAS

- Carley, K. M. (2002). Computational organizational science and organizational engineering. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 10(5-7), 253–269. doi:10.1016/S1569-190X(02)00119-3
- Chan, W. K. V., Son, Y.-J., & Macal, C. M. (2010). Agent-based simulation tutorial - simulation of emergent behavior and differences between agent-based simulation and discrete-event simulation (pp. 135 –150). doi:10.1109/WSC.2010.5679168
- Clara López Obregón, R. S. Á. (2008). *ReoRganización cuRRriculaR poR* (p. 108).
- Cohen, P. R., & Levesque, H. J. (1990). Intention Is Choice with Commitment *, 42(1990), 213–261.
- Davidsson, P. (n.d.). Multi Agent Based Simulation: Beyond Social Simulation. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.15.1056>
- Davidsson, P. (2002, January 31). Agent Based Social Simulation: A Computer Science View. JASSS. Retrieved from <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/5/1/7.html>
- Desa, A., Kadir, N. B. A., & Yusoooff, F. (2011). A Study on the Knowledge, Attitudes, Awareness Status and Behaviour Concerning Solid Waste Management. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 18, 643–648. doi:10.1016/j.sbspro.2011.05.095
- Grimm, V., Berger, U., Deangelis, D. L., Polhill, J. G., Giske, J., Railsback, S. F., Science, C., et al. (n.d.). The ODD protocol : a review and first update, 2760-2768.
- Grodzinska-Jurczak, M., Bartosiewicz, A., Twardowska, A., & Ballantyne, R. (2003). Evaluating the Impact of a School Waste Education Programme upon Students', Parents' and Teachers' Environmental Knowledge, Attitudes and Behaviour. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 12(2), 106–122. doi:10.1080/10382040308667521
- Guihong, B., Hua, W., Qiang, L., & Yan, H. (2008). Agent based model for solid waste management and policy simulating analysis (pp. 768 –773). doi:10.1109/CHICC.2008.4605156
- Guizzardi, G., & Wagner, G. (2011). Towards an ontological foundation of agent-based simulation. *Proceedings of the Winter Simulation ...*, 284 –295. doi:10.1109/WSC.2011.6147757
- Gurcan, O., Dikenelli, O., & Bernon, C. (2011). Towards a generic testing framework for agent-based simulation models (pp. 635 –642). Retrieved from <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=6078175&contentType=Conference+Publications&queryText%3DAgent-based+Simulation>
- Klee, A. J. (1970). DISCUS-A Solid-Waste Management Game. *Geoscience Electronics, IEEE Transactions on*, 8(3), 125 –129. doi:10.1109/TGE.1970.271406

- Klügl, F. (2008). A validation methodology for agent-based simulations. *Proceedings of the 2008 ACM symposium on Applied computing - SAC '08* (p. 39). New York, New York, USA: ACM Press. doi:10.1145/1363686.1363696
- Lin, Z., Hsu, H., & Wang, F. (n.d.). Intention Scheduling for BDI Agent Systems. *29th Annual International Computer Software and Applications Conference (COMPSAC'05), 1*, 133–140. doi:10.1109/COMPSAC.2005.92
- Louie, M. a., & Carley, K. M. (2008). Balancing the criticisms: Validating multi-agent models of social systems. *Simulation Modelling Practice and Theory, 16*(2), 242–256. doi:10.1016/j.simpat.2007.11.011
- Pablo, J., Ruiz, G., & Guerrero, G. (2009). BESA / ME \square : multi agent applications development platform over mobile devices with JME, *6*(3).
- Sargent, R. G. (2010). Verification and validation of simulation models (pp. 166 –183). doi:10.1109/WSC.2010.5679166
- Tchobanoglous, G. (1994). *Gestión integral de residuos solidos*. Madrid: Mcgraw-Hill.
- Tucker, P., & Smith, D. (1999). Simulating household waste management behaviour. *Journal of Artificial Societies and Social ...*. Retrieved from <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/2/3/3.html>
- Zhang, X., Wang, J., Luo, L., & Li, Y. (2010). Real-time task scheduling behavior in agent-based product development process simulation (pp. 295 –299). doi:10.1109/CSCWD.2010.5471960
- Zhang, Kendall, J. (2003). A software Engineering Process for BDI Agent-Based Systems. *IEE*.
- Asmawati Desa, N. B. (2011). A Study on the Knowledge, Attitudes, Awareness Status. *ScienceDirect , 18*, 643-648.
- BeFunky. (2013). *BeFunky*. Retrieved 05 19, 2013, from Befunky: <http://www.befunky.com/>
- California State University, Chico. (2012). *ROI*. Retrieved 11 26, 2012, from www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CDIQFjAA&url=http://www.csuchico.edu/celt/roi/&ei=H261UKj-IJSc8gTrloE4&usg=AFQjCNGMTsLCE5eyrf83SXsbQ-O10N9OrA&sig2=8OjW8lfgSeYyi0esztkmxw
- González, R. A. (2012). El método científico y la investigación basada en el diseño. Bogotá.
- Google. (2013). *Google Earth*. Retrieved 05 19, 2013, from Google Earth: www.kh.google.com/download/earth/index.html

- Itsuki, R. D., & Komoda, N. (2004). A recycle chain management system concept and an analysis method using RF-ID tags . *IEEE Xplore* , 5, 4509 - 4514.
- Javeriana, P. U. (2013). *PROSOFI*. Retrieved from PROSOFI: http://portal.javeriana.edu.co/portal/page/portal/Facultad%20de%20Ingenieria/pla_facultad/Prosofi
- Jo, C. H., & Einhorn, J. M. (2005, November-December). A BDI Agent-Based Software Process. Vol 9, No 9 pp 101-121.
- McHarry, J. (2012). *Reducir, Reutilizar, Reciclar*. Madrid, España: Ecoespaña.
- Pineda M., S. I. (1998). *Manejo y disposición de residuos solidos urbanos*. Bogota: Acodal.
- Pontificia Universidad Javeriana. (1992, Abril 22). *Misión, Acuerdo No. 0066 del Consejo Directivo Universitario*. Retrieved Septiembre 11, 2012, from http://portal.javeriana.edu.co/portal/page/portal/PORTAL_VERSION_2009_2010/es_mision
- Railsback, S. F., & Grimm, V. (2012). *NetLogo 5.0.2 User Manual*.
- Tchobanoglous, G. (1994). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Madrid, España: McGraw-Hill.
- Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos. (2012). *UESP*. Retrieved 11 2, 2012, from <http://www.uesp.gov.co/>
- Volker Grimm, U. B. (2006). *Agent-based and Individual-based Modeling: A Practical Introduction*. Retrieved 9 3, 2012, from <http://www.railsback-grimm-abm-book.com/>
- Wilensky, U. (2012). *NetLogo*. Retrieved from <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/index.shtml>

8. ANEXOS

En esta sección se muestra una lista de los documentos anexos al trabajo de grado.

Anexo 1. Encuesta de caracterización

Encuesta de Caracterización.

El siguiente, es un formato de la encuesta usada para la recolección de información en el sector del caso de estudio. Por razones de privacidad de los encuestados, este formato ha sido anonimizado:

Anexo 2. Actas de Reunión

Actas de Reunión

Las siguientes son las reuniones que se mantuvieron con diferentes expertos a lo largo del semestre que permitieron validar el proceso continuamente manteniendo la consistencia.

FORMATO DE ACTA DE REUNIÓN	
Fecha: 23/Feb/2013	
Hora inicio: 10:00	Hora fin: 13:00
Asistentes	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Stephanie Sánchez 2. Ing. Pablo Guzmán 3. Alex Linares 4. Sandra Riveros (Integrante ASOBEUM) 	
Orden del día	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Contextualización del proyecto y los objetivos de este. 2. Discusión sobre la posible vinculación del barrio El Bosque con la bodega de reciclaje de Sandra. 3. Explicación por parte de Sandra sobre los materiales que se trabajan en la bodega. 4. Discusión sobre los posibles horarios y sistema de recolección de residuos en el sector. 5. Desarrollo del plan de trabajo. 	
Desarrollo	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Es necesario que todas las personas involucradas (tanto actores internos como externos al sistema) entiendan muy bien cuál es el objetivo de nuestro proyecto y en qué sentido este puede apoyar los intereses de los mismos actores. Hubo una explicación exhaustiva por parte de Stephanie sobre el modelo de simulación que se está desarrollando en torno a la GIRSD. 2. Uno de los principales objetivos de esta reunión era indagar sobre la posible vinculación entre la bodega de reciclaje de Sandra y el barrio en estudio, es decir, si existen recuperadores que tengan como zona de trabajo este barrio. 3. A partir del estudio realizado por la UAESP titulado “CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS RESIDENCIALES GENERADOS EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.” se realizó un análisis de los residuos más comunes en los barrios de estrato 1 y 2, y sobre la tipificación de los residuos aprovechables. Sandra realizó una explicación sobre la composición de los residuos, los tipos de residuo que ella trabaja y en qué cantidades. 4. También hubo una explicación por parte de Sandra sobre los diferentes tipos de sistemas de recolección que existen en este sector, teniendo en cuenta todos los actores que intervienen en el proceso tales como los camiones recolectores, los recuperadores y los animales. También se discutió el horario en que generalmente se disponen los residuos para su recolección. 5. Teniendo en cuenta las diferentes discusiones que surgieron durante esta reunión, se realizó una lista de tareas que permitirán el avance adecuado en el desarrollo del proyecto. 	
Conclusiones	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Siendo Sandra como recuperadora uno de los actores más importantes en el sistema, y que tiene como objetivo la inclusión de su trabajo en el proceso de manera formal y reconocida, estuvo muy interesada en el desarrollo del proyecto, pues se estaría educando a 	

<p>la comunidad sobre la influencia de su trabajo en la sociedad y el medio ambiente.</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Se estableció que no existe un vínculo directo entre la bodega de Sandra y el barrio en estudio. Pero se manifestó que este vínculo pudiera existir entre una bodega perteneciente a un tío de Sandra. Esta investigación hace parte del plan de trabajo. De ser así, Sandra podría ser de gran aporte en el desarrollo del modelo. 3. Se establecieron diferentes pautas en cuanto a la detección de los diferentes tipos de residuos que se deben separar, los que sirven para reciclar y los que parecieran reciclables pero no los son. Sandra manifestó preocupación apremiante en este sentido, pues se debe educar de manera correcta a la comunidad para que el proceso de separación en origen se realice correctamente. 4. Se discutieron los diferentes sistemas que existen en el sector para la disposición y recolección de los residuos sólidos y se presume que en el barrio El Bosque existe un punto de acopio. 5. Las tareas definidas en el plan de trabajo son las siguientes: <ul style="list-style-type: none"> • Identificar el sistema de disposición de los residuos sólidos en el barrio El Bosque. • Identificar el (los) punto (s) de recolección en el barrio. • Identificar los horarios disposición y recolección de los residuos en el barrio. • Visita bodeguero (s) de la zona. • Reunión con la Junta de Acción Comunal para investigar sobre el punto de acopio en el barrio. • Reunión con los profesores del Colegio Ofelia Uribe para realizar la explicación del proyecto y obtener recomendaciones al respecto.
--

FORMATO DE ACTA DE REUNIÓN

Fecha: 07/Mar/2013	
Hora inicio: 14:00	Hora fin: 16:30
Asistentes	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Sebastián Rojas 2. Nora Usme (UAESP) 3. Johana Laverde (UAESP) 4. Adriana Gómez (UAESP) 5. Mie Nagayasu (JICA) 6. Alex Linares 7. Sandra Méndez 8. Natalia González 	
Orden del día	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Contextualización de la reunión para todos los asistentes 2. Lineamientos de una posible alianza UAESP – Universidad Javeriana 3. Proyectos que se encuentra desarrollando la Universidad Javeriana 4. Proyectos que se encuentra desarrollando UAESP 	
Desarrollo	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Se expuso el trabajo que la Pontificia Universidad Javeriana ha venido desarrollando en la comunidad de Usme junto con el proyecto social PROSOFI, en especial en los colegios. 2. Entre los proyectos desarrollados, se expuso el proyecto de la simulación, y como se está trabajando con la comunidad para la recolección de los datos. 3. Se hizo una claridad entre los términos oficiales que se deben manejar para mayor claridad en cuanto a la clasificación de los materiales que se dividen en reciclable, orgánico y peligroso, y que se encuentran especificados en la Resolución 799 de 2012 4. La UAESP se encuentra desarrollando un proyecto en el área de la educación, razón por la 	

<p>cual les interesa mucho que el proyecto de la simulación se realice para que ellos puedan apoyar su trabajo con este.</p> <p>5. Se conoció como operan las compañías de limpieza de la ciudad, y de qué forma son controladas, en especial, una resolución interna que posee la UAESP para la supervisión de las entidades</p>
Conclusiones
<p>1. Podría existir gran apoyo por parte de la UAESP para el desarrollo del proyecto, sin embargo estamos a la espera de que se oficialicen los acuerdos que permitan la colaboración mutua UAESP – Javeriana.</p> <p>2. Como contactos en la UAESP quedaron Adriana Gómez (agomezu@uaesp.gov.co) y Johanna Laverde (jlaverde@uaesp.gov.co) que se encuentran como líderes en la parte de educación y que poseen información e ilustraciones valiosas para el proyecto</p> <p>3. Adicionalmente se logró coordinar una reunión con el ingeniero Charles Daza (Cel. 310 325 7236) de la compañía de Aguas de Bogotá, para conocer a profundidad la forma de operar de la compañía en el sector del Bosque.</p> <p>4. También quedo como contacto el ingeniero Edgar Gómez (Cel.: 317 322 3807) de la compañía Ciudad Limpia, para conocer la manera en que opera una compañía de limpieza con mayor experiencia</p>

FORMATO DE ACTA DE REUNIÓN	
Fecha: 23/Feb/2013	
Hora inicio: 15:30	Hora fin: 16:30
Asistentes	
<p>9. Sebastián Rojas</p> <p>10. Mónica Brijaldo (P.U.J.)</p> <p>11. Adriana Gómez (UAESP)</p> <p>12. Johanna Laverde (UAESP)</p>	
Orden del día	
<p>5. Proyecto en educación de la UAESP y como recibiría apoyo por parte de la Universidad Javeriana</p> <p>6. Material de la UAESP para apoyo del proyecto de simulación</p>	
Desarrollo	
<p>6. La UAESP se encuentra documentando un proyecto de educación para la separación de residuos en la fuente. La UAESP esperaría recibir apoyo de la profesora Mónica Brijaldo en este proyecto, desde su área del conocimiento.</p> <p>7. Se presentó el materia que posee la UAESP para apoyar la simulación, ellos poseen ilustraciones de los residuos que se pueden generar, específicamente generadas para estar dirigidas a estudiantes. Estas están en 2D y 3D</p>	
Conclusiones	
<p>5. Existe mucho material y apoyo para brindar entre las dos partes, sin embargo se acordó que es necesario primero esperar al acuerdo oficial que haga la UAESP y la Universidad Javeriana para poder empezar a compartir información y recursos</p>	

FORMATO DE ACTA DE REUNIÓN	
Fecha: 05/Abr/2013	
Hora inicio: 14:30	Hora fin: 16:30
Asistentes	
<p>13. Sebastián Rojas</p>	

14. Nora Usme (UAESP) 15. Lliscel Peña (Secretaria de Educación) 16. Xiomara Zuluaga (Secretaria de Ambiente) 17. Alex Linares 18. Ing. Sandra Méndez 19. Ing. Pablo Guzmán
Orden del día
7. Contextualización de la reunión para todos los asistentes 8. Propósito del proyecto 9. Proceso y avance 10. Retroalimentación
Desarrollo
8. Se comenzó por contextualizar a todos los asistentes sobre los motivos de la reunión, la profesión que tenían cada uno de los asistentes, y la importancia de su trabajo dentro del proyecto. Se presentaron públicamente las invitadas Lliscel Peña, Xiomara Zuluaga y Nora Usme las cuales eran la primera vez que asistían a una reunión en la Universidad Javeriana. 9. Como parte de la contextualización, también se explicaron todo los proyectos que se están llevando en paralelo y como engranan cada uno con los demás. 10. Se procedió específicamente a hablar acerca de la simulación, en este apartado, se expuso con mayor detalle el propósito y el impacto que se pretende lograr con el desarrollo de la simulación orientado a la gestión integral de residuos sólidos domiciliarios 11. Finalmente se mostró el avance que posee el proyecto, donde se mostró parte de la simulación y las decisiones tomadas que se encuentran aún en desarrollo.
Conclusiones
6. Es necesario definir exactamente las edades de los usuarios a los cuales la herramienta estará dirigida, de manera que gráficamente se pueda tomar ventaja para lograr una mayor atención y aprendizaje por parte de los mismos 7. Para el manejo de los residuos peligrosos, se tomara en cuenta únicamente la recolección de RAE 8. Es conveniente colocar puntos de referencia propios de los habitantes del sector de manera que el reconocimiento del sector al momento de usarlo sea mucho más fácil

Anexo 5. Validación del modelo por experto en Simulación Basada en Agentes

Señor

Ing. Oscar Xavier Chavarro García
Pontificia Universidad Javeriana

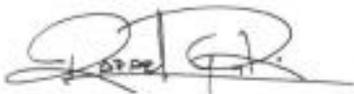
Apreciado Ingeniero:

Por medio de la presente, y en relación con el modelo conceptual del proyecto SIMWASTE, dirigido a la Gestión Integral de Residuos Sólidos Domiciliarios, enfocado como herramienta didáctica para niños que se encuentren en los ciclos de educación 1 y 2, y que está siendo desarrollado como trabajo de grado por parte de los estudiantes Stephanie Sánchez y Sebastián Rojas, me permito realizar los siguientes comentarios:

1. Se debe tener en cuenta la representación temporal de la simulación, si un tick representa un segundo, es necesario especificar cuánto tiempo dura un tick realmente.
2. Hay que mantener la diferencia entre generar y separar residuos. El generar residuos no debe depender de la separación, aunque quizás sí pueda depender de la reducción de un tipo específico de residuos.
3. Es preferible aclarar que el concepto de emergencia del modelo, se basa en las propiedades que emergen del modelo a partir del comportamiento global
4. Hay que ajustar la ecuación de satisfacción del agente persona. Debe maximizar la satisfacción de la persona en la medida que aumente el número de bolsas blancas que genere
5. Existen distintos tipos de aleatoriedad. Es necesarios en la estocasticidad elegir un tipo en específico.

Con base al modelo conceptual generado, y teniendo en cuenta los comentarios anteriores, considero que este se encuentra enmarcado dentro de los objetivos planteados y cumple el alcance establecido en el proyecto.

Atentamente



Rafael Andrés González Rivera
Director de Departamento
Departamento de Ingeniería de Sistemas, Facultad de Ingeniería
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C.

Anexo 6. Validación del prototipo por experto en Gestión de Residuos Sólidos



FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

Mayo 17 de 2013, Bogotá D.C

Ingeniero
OSCAR JAVIER CHAVARRO GARCÍA
Pontificia Universidad Javeriana
Ciudad

Estimado Oscar:

Por medio de la presente te confirmo que tuve una reunión de validación del prototipo funcional de SIMWASTE como herramienta didáctica para ilustrar a niños que se encuentren en los ciclos de educación 1 y 2, la Gestión Integral de Residuos Sólidos Domiciliarios teniendo en cuenta el modelo de Basura Cero, trabajo de grado desarrollado bajo tu dirección por parte de Stephanie Sánchez y Sebastián Rojas.

Las principales sugerencias por mi parte fueron:

1. Trabajar en el contraste de color de los agentes separadores y en el tamaño de las canecas.
2. Mirar la opción de que los vectores (perro) contaminen agentes separadores (puede ser en extensión de la simulación si no se alcanza para ahora).
3. Revisar el ciclo de aplicación pues en mi opinión la herramienta es más apta para menores de 10 años de edad.
4. Incluir en la ficha de validación de conceptos que se trabajará con los niños, el papel & cartón
5. En la simulación de separación en el hogar, identificar mejor el espacio de la cocina y hacer el agente más similar a un "súper héroe"
6. Revisar bien que la información de la simulación (pestaña "Info" en el Netlogo, quede autocontenida de modo que el docente que vaya a usar la herramienta, al leer esta parte, comprenda bien todo el contexto, elementos claves y posibilidades.
7. Se sugirió validar con la UAESP como posible interesada en la herramienta

A partir de los comentarios mencionados y de los objetivos planteados para el desarrollo de este proyecto, se concluye que el prototipo diseñado cumple con los objetivos de pedagogía alrededor de los temas de separación en la fuente y Bogotá Basura Cero.

Atentamente,

SANDRA MÉNDEZ FAJARDO, IC, MSc
Profesora Asistente II - Área Ambiental y Saneamiento Básico
Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C.

Anexo 7. Validación del prototipo por funcionario de la UAESP



Bogotá D.C. 17 de Mayo de 2013

Señores

Sebastián Ricardo Rojas Díaz
Ruth Stephanie Sánchez Olaya
Estudiantes Ingeniería de Sistemas
Pontificia Universidad Javeriana

Apreciados Estudiantes

En relación con el Prototipo Funcional de SIMWASTE desarrollado como herramienta didáctica, dirigida a niños en los ciclos de educación 1 y 2 para el aprendizaje de la Separación en la fuente de Residuos Sólidos Domiciliarios, el cual hace parte del el proyecto "Fortalecimiento De Vínculos Colegio Entorno, a través De La Gestión De Residuos" y se enmarca en el programa Distrital Basura Cero, una vez observada la simulación adelantada al 17 de mayo del 2013, me permito hacer las siguientes observaciones:

1. Se sugiere que la herramienta "introdutoria" muestre de una manera más explícita, los materiales potencialmente reciclables en el hogar. Bien sea con sonidos o a través de mensajes escritos.
2. La base de datos con la cual se diseñó el prototipo proviene de: i) Información geográfica del sector. ii) encuestas efectuadas a una muestra de la población en el área de influencia (57 usuarios residenciales) cuyos datos fueron aplicados al total de la población examinada que corresponde a 366 predios.

Para efectos de evidenciar el impacto real de la generación de residuos sólidos en el área de estudio, se debe tener en cuenta que cada predio puede estar compuesto por más de un usuario del sistema. Esto quiere decir que en cada nomenclatura, a la cual llega una





Pág.2

factura de aseo, puede habitar más de una familia, lo que implica más de un usuario, bajo el mismo número de suscriptor del Servicio de aseo.

Se sugiere en la medida de las posibilidades, hacer uso del catastro de usuarios con el fin de ajustar la muestra al número real de usuarios del sistema y de generadores de residuos, para determinar con mayor certeza el porcentaje de impacto de la muestra.

3. En relación con el área de influencia, los recorridos de recolección, la capacidad de recolección de los camiones y de los recicladores, se sugiere efectuar una medición en tiempo, espacio y capacidad de cada uno de estos factores, con el fin de determinar el tamaño de la muestra en términos de área (km), tiempos (horas de recorrido) tonelaje (de recolección).

Dado que el prototipo se encuentra en una fase de construcción, resulta oportuno considerar la aplicación de los ajustes sugeridos en una próxima etapa. Estas sugerencias son efectuadas en el marco del Convenio de Cooperación Interinstitucional a ser firmado entre la UAESP y la Pontificia Universidad Javeriana.

Atentamente

JOHANA USME H

Asesora Dirección General
Cooperación Internacional y Relaciones Interinstitucionales

c.c. Leonardo Rodríguez – Subdirector Aprovechamiento
Carlos Torres – Plan de Inclusión



Anexo 8. Validación con usuarios finales

Validación con Usuario Finales

Dado que el resultado de este proyecto de grado es un prototipo funcional con fines pedagógicos, una de las fases de validación se realizó con los usuarios de la población objetivo definida en el proyecto. Dado que esta fue apenas una prueba piloto, se tomó una muestra de 10 niños (5 niños de 4to grado y 5 niños de 5to grado) para validar la utilidad de este prototipo como herramienta didáctica.

El proceso de validación fue el siguiente:

- Aplicación del test sobre los conocimientos del usuario acerca de la gestión de los residuos sólidos.
- Aplicación del prototipo para cada niño por un tiempo aproximado de 10 minutos para permitirle entender bien la simulación y los objetivos de cada agente.
- Aplicación del mismo test realizado antes de ver la simulación para validar si el usuario aprendió de la simulación o no.

A continuación se presenta un test realizado a uno de los usuarios finales antes de utilizar la herramienta.

Tu nombre: _____
 Tu edad: 10
 ¿En qué curso estás? 502

Marca con una X la caneca a la cual pertenece cada elemento.

	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

¿Sabes a qué hora pasa el reciclador por tu casa?
No pasan

¿Sabes a qué hora pasa el camión recolector por tu casa?
7:00 AM

¿Sabes de qué color son las bolsas que debe recoger el reciclador?
No se

¿Sabes de qué color son las bolsas que debe recoger el camión?
De cualquier color

¿Sabes por qué hay tantas bolsas de basura destruidas por los animales en las calles?
Por que los humanos no sabemos reciclar y dañamos el ambiente

Ahora se presenta uno de los test realizados al mismo estudiante, luego de realizado el test.

(8)

¿Sabes a qué hora pasó el recolector por tu casa?
A las 7:00

¿Sabes a qué hora pasó el camión receptor por tu casa?
A las 8:00

¿Sabes de qué color son las bolsas que debe recoger el recolector?
Blancas

¿Sabes de qué color son las bolsas que debe recoger el camión?
Negras

¿Sabes por qué hay tantas bolsas de basura destruidas por los animales en las calles?
Que la persona no reside en su casa y de otra manera destruyen

	<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>
	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>
	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>

A partir de las pruebas aplicadas, se realiza el siguiente reporte con los resultados obtenidos.

GRADO	ANTES DE LA SIMULACIÓN		DESPUÉS DE LA SIMULACIÓN		
	Pregunta	Respuestas incorrectas	Respuestas correctas	Respuestas incorrectas	Respuestas correctas
4to	1	3	2	1	4
	2	0	5	1	4
	3	3	2	1	4
	4	0	5	0	5
	5	2	3	1	4
	6	1	4	0	5
	7	3	2	1	4
	8	2	3	1	4
	9	5	0	1	4
	10	5	0	0	5
	11	3	2	0	5
	12	4	1	0	5
	13	0	5	0	5
5to	1	5	0	0	5
	2	4	1	0	5
	3	4	1	2	3
	4	3	2	0	5
	5	4	1	2	3
	6	3	2	0	5
	7	5	0	0	5
	8	5	0	0	5
	9	5	0	2	3
	10	4	1	2	3
	11	5	0	1	4
	12	3	2	1	4
	13	5	0	0	5
TOTAL	182	86	44	17	113

Anexo 9. Stakeholders

Los Interesados (Stakeholders)

Este documento es generado como parte del proceso para la implantación y uso de la herramienta pedagógica en los colegios objetivos y se basa en la importancia y el impacto que puede producir la herramienta al ser aplicada a los usuarios finales (estudiantes).

La gestión de residuos sólidos será modelada en un ambiente de simulación basado en agentes, que permitirá de manera más rápida y acertada obtener resultados a partir las políticas de gestión que se definan al comienzo del modelo de simulación, con el fin de evidenciar la importancia de la correcta gestión de los residuos con el fin de educar y crear cultura ciudadana.

En específico, esta herramienta brindará beneficios a:

Directivas institucionales

Tecnología avanzada: Esta nueva herramienta educativa le brindará una nueva perspectiva a la institución educativa en cuanto a las herramientas tecnológicas que se están desarrollando hoy en día, y en cómo esta direccionando todos los recursos disponibles a favor de los estudiantes.

Vanguardia en educación: La institución educativa, a través de esta herramienta estará a la vanguardia de la educación haciendo uso de nuevas tecnologías, lo que le permitirá destacarse de las demás instituciones.

Profesores

Nuevas técnicas de educación: Los profesores podrán obtener experiencia aplicando nuevos paradigmas en educación, motivando a los estudiantes y al mismo tiempo brindándole información acertada sobre la realidad y la situación de su entorno.

Autoaprendizaje y autonomía: Su rol dentro del salón de clase tendrá un ligero cambio debido a que la responsabilidad del profesor ya no será la de enseñar tradicionalmente; debido a la autonomía que la herramienta le brindará al estudiante, el rol del profesor pasará a ser una guía, donde apoye el autoaprendizaje a través de la asistencia y la resolución de dudas.

Estudiantes

Claridad: A diferencia de como regularmente se les enseña a los estudiantes a través de lecturas que la mayoría no disfruta, o a clases donde les cuesta mantener la atención, esta herramienta brindará mayor entendimiento siendo atractivo e interesante para la clase.

Cercanía a la realidad: La herramienta colocará a los estudiantes un entorno familiar, lo que les permitirá entender cómo su propio entorno se ve afectado de acuerdo a la gestión de residuos sólidos que sea elegida. Además, el modelo contará con parámetros de datos reales, por lo que su resultado será cercano a la realidad.

Interactivo: Los estudiantes serán capaces de modificar algunas variables dentro de la herramienta, lo que modificará las políticas de gestión de los residuos y por consiguiente, la simulación. Este nivel de interactividad le mostrará al estudiantelos efectos que se producen de acuerdo al manejo de estas variables.

Directivas de entidades públicas encargadas

Entidades del sector público tales como la UAESP (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos), y la EAAP (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá), dada su relación directa con el tema de la gestión de residuos sólidos, quienes están interesados en mejorar la cultura de separación de residuos en los habitantes de la ciudad, para generar beneficios colectivos.