



Facultad de Estudios Superiores

Acatlán



Torres Trejo Claudia Viridiana
Contacto: nombre@comunidad.unam.mx
Licenciatura en Economía
Profesor: José Antonio Huitrón Mendoza

Dinámica y simulación del metabolismo urbano

Resumen

Los modelos basados en agentes (MBA) son herramientas las cuales nos permiten crear distintos escenarios de interacción entre los agentes. Este capítulo se centra en la gestión de residuos sólidos aplicada en un modelo basado en agentes, con el fin de buscar los determinantes que afectan o benefician en la eficacia de la recolección de residuos sólidos.

Palabras clave: MBA, interacciones, gestión de residuos sólidos, agentes.

Contenido

Capítulo 3. <i>Dinámica y simulación del Metabolismo urbano</i>	3
Introducción	4
¿Qué son los modelos basados en agentes?	5
El tiempo y el costo en el proceso de recolección como proceso emergente	8
La gestión de residuos sólidos en un mundo virtual.....	9
Los agentes dentro de un modelo de recolección.....	11
¿Cómo medimos el modelo de GRSU?	13
Comienza el modelo de gestión de residuos sólidos.....	15
¿Qué es lo que mide el modelo de gestión de residuos sólidos?	16
Interacciones de los agentes y espacio en la GRSU.....	17
Resultados.....	20
Conclusión	26
Bibliografía.....	27

Capítulo 3. *Dinámica y simulación del Metabolismo urbano*

Introducción

Los modelos basados en agentes y simulación (MBAS) son modelos computacionales, los cuales sirven para modelar la realidad, actualmente las ciencias sociales están utilizando este método para formar escenarios posibles, que ayuden a experimentar como lo hacen las ciencias exactas.

Los primeros modelos computacionales sociales se iniciaron en la década de 1960 con microsimulación: Toma un conjunto de datos sobre una población de personas, hogares o empresas y aplicando reglas para reflejar cambios dentro del modelo (Gilbert & Troitzsch;2005,8). Esto permitió modelar un mundo virtual, en el cual se relacionaban los agentes heterogéneos y esto abrió la puerta a un análisis del tiempo espacio e interacción (Lynee; Gilbert, 2016).

Los problemas sociales cada vez son mayores por el tipo de relaciones que se establecen día con día, el intercambio de información que viaja dentro del mundo, la ciudad, una zona urbana o rural, etcétera. El problema con la información es que no todos tienen la misma, los agentes toman decisiones con la limitación de información a la cual tiene acceso.

Los residuos sólidos son el resultado de las actividades que se realizan en la ciudad denominada actividad antropocéntrica, una vez que son generados los residuos estos son sometidos a un proceso de recolección, transporte y disposición final, esto con el fin de reducir, eliminar y tratar los residuos sólidos.

El modelo de gestión de residuo sólidos toma los procesos reales de gestión de residuos sólidos con el fin de generar resultados, que expliquen el proceso en cuanto a costos, gastos y recolección de residuos, todo modelado con un MBAS, para determinar los escenarios posibles con el fin de resolver los problemas que existen dentro del proceso

¿Qué son los modelos basados en agentes?

Los Modelos Basados en Agentes y Simulación (MBAS) son una herramienta, la cual permite hacer pruebas a las teorías aplicadas dentro del análisis, donde el punto de partida son las interacciones entre los agentes. Los MBAS permiten la colaboración de distintas ciencias y ramas, las cuales dialogan entre sí para formar un estudio multidisciplinario de los fenómenos de estudio.

Distintos paradigmas y teorías compiten por explicar la realidad; los MBAS sirven para crear escenarios posibles que se asemejen al fenómeno de estudio. Para explicar una realidad concreta se puede utilizar diversas teorías y distintos métodos de comprobación, los MBAS se desarrollan con base en teoría y matemáticas para poder desarrollar los agentes, el mundo y su interacción.

La realidad no se puede pronosticar, sin embargo con las características de los agentes, así como el espacio en el que interactúan hacen posible aproximarse a la realidad o al fenómeno que se está estudiando, se crean escenarios los cuales pueden asemejarse a la realidad o llegar a resultados que son la realidad.

A los MBAS se les denominó ese concepto en los años 60, a partir de los años 70 se empezaron a usar en ciencias computacionales, simulación e informática, y fue hasta los años 80 que fueron adoptados por las ciencias sociales para empezar a modelar interacciones entre los agentes (Carvalho, 2011). Uno de los primeros modelos aplicados en las ciencias sociales fue el desarrollado por Shelling (1971), con el fin de modelar la interacción de los agentes con rangos distintos de tolerancia y como la población se segregaba con base en ella.

Los modelos son utilizados en las ciencias sociales para desarrollar posibles escenarios de interacción entre los agentes y el mundo, dejando de lado, la idea de un “agente representativo” utilizado en la teoría convencional. Cada agente tiene distintas características, gustos y preferencias interactuando en un espacio y adaptándose a él en cada decisión que tomen o lleven a cabo, a esto se le

denomina heterogeneidad, las características asignadas a los agentes de forma aleatoria y las reglas de comportamiento.

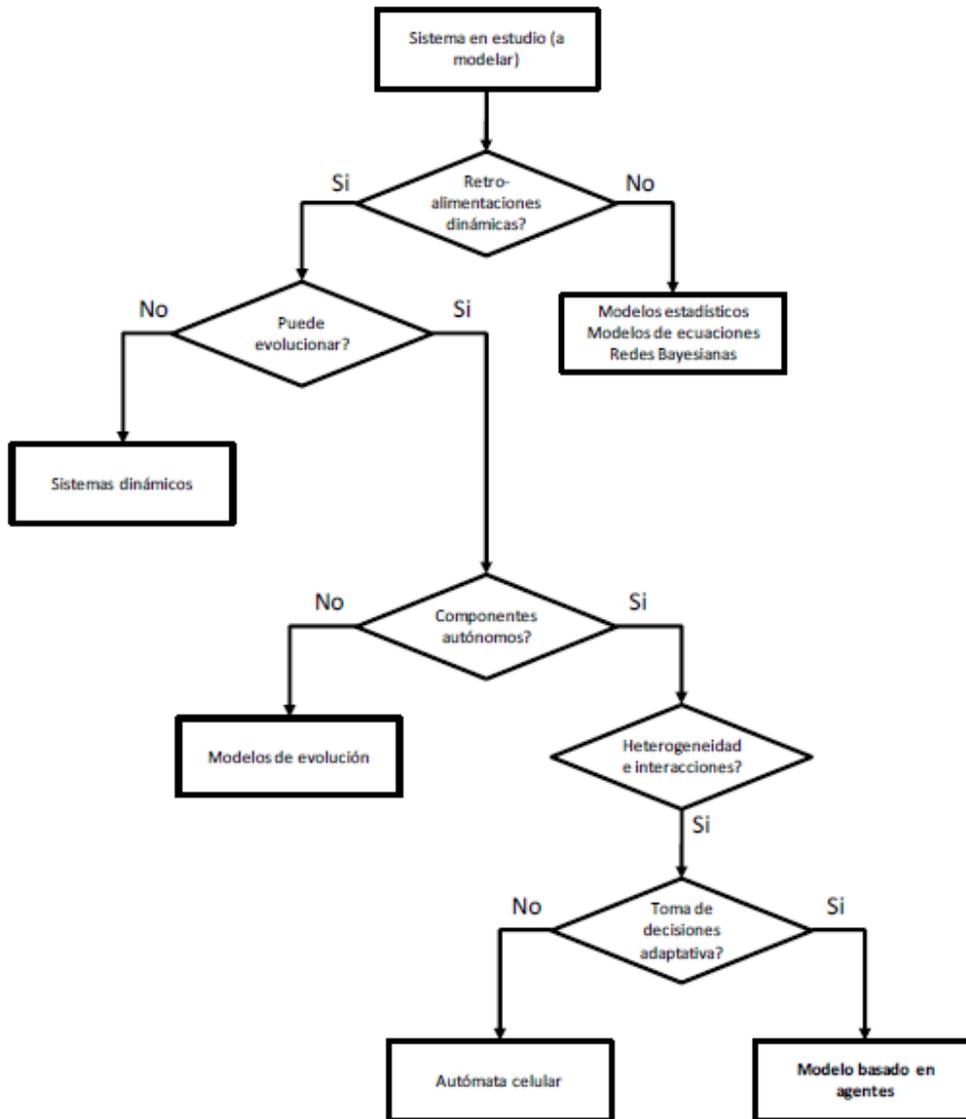
Los agentes son la representación de actores reales (casas, personas empresas, etc.) los cuales intercambian información y aprenden de ellas para desarrollar nuevas interacciones, se retroalimentan. Los agentes son autónomos y toman sus propias decisiones con base en reglas computacionales. Estos agentes interactúan con base en reglas de comportamiento que les permite hacer heterogénea su participación en el mundo virtual programado. La interacción es la relación recíproca entre dos o más agentes.

El espacio donde los agentes se relacionan es un mundo virtual que sirve para desarrollar las interacciones, este mundo no sólo afecta de forma directa al agente, también al mundo, si el mundo cambia y se transforma el agente lo hará también con base en las reglas de comportamiento y las características que cada uno posea.

Los modelos basados en agentes son reflejo de la realidad dentro de una programación, un lenguaje computacional, las limitaciones que se presentan en los modelos son los supuestos hechos de forma intuitiva.

Heckber et al (2010) desarrolla un diagrama el cual con base en distintas características que tendrá el modelo, se toma una decisión del tipo de modelo que se va a desarrollar.

Figura13 ¿Cómo determinar un modelo computacional?



Fuente: Cardoso, C.; Bart F. y Podestá, G. (NA)

Los MBAS son herramientas que permiten modelar problemas sociales, los cuales al crear escenarios y agentes permite una retroalimentación de los mismo, autónomos en las decisiones que toman, presentan heterogeneidad y las decisiones que toman son adaptativas, con base en esas características se desarrollan modelos dinámicos, los cuales permiten un uso de una herramienta con menos limitaciones.

El tiempo y el costo en el proceso de recolección como proceso emergente

En el modelo se da una interacción entre los agentes: industrias, hogares y unidades de recolección, entre la información que intercambian se calculan los:

- 1) Niveles de producción de residuos
- 2) Costos por unidad de vehículo
- 3) Tiempo de recolección y transporte de residuos

Una vez que los vehículos hacen la recolección de los desechos, las unidades hacen una interacción con el entorno, el lugar de disposición de los desechos dentro del modelo funge como el entorno, por tanto los vehículos recorren una ruta para trasladar los residuos.

Las dinámicas descritas no tienen una forma centralizada de llevarse a cabo, ya que no existe una coordinación entre los agentes para producir cierto volumen de residuos, en cambio aunque la gestión de residuos es un proceso organizado las formas de organización se ajustan para cada zona geográfica, ya que cada zona no tiene las mismas condiciones de espacio físico y por tanto no está determinado el proceso.

En ciudades o regiones con cierto tipo de características, nivel de población, patrones de consumo, entre otras, generan un volumen de residuos estable, aunque existen temporadas que llegan a incrementar los volúmenes de residuos estos vuelven a estabilizarse una vez que paso las temporadas, por lo tanto los volúmenes de residuos son estables y no presentan cambios drásticos en el paso del tiempo, por lo tanto se habla de procesos auto organizados.

Los tiempos de recolección son estables con respecto a las rutas establecidas, sin embargo un cambio en la generación de residuos o en las formas de gestionar los residuos pueden ocasionar un salto en la estabilidad de tiempo, provocando incrementos en los costos dependiendo si se requieren mayor número de unidades o aplicar una técnica que reduzca los tiempos de recolección y transporte.

La gestión de residuos sólidos en un mundo virtual

El modelo (MBAS) de la gestión de residuos sólidos (GRSU) es una representación actual de los procesos para gestionar los residuos dentro de una ciudad, diariamente. Esto con el fin de representar cada uno de los procesos que hacen posible la gestión de residuos sólidos en una zona urbana.

El propósito del modelo es estimar los costos que se genera en cada uno de los procesos dentro de la gestión de los residuos sólidos, tomando en cuenta distintos supuestos dentro del modelo:

- Los que mayor generan residuos son las empresas, por lo tanto los camiones se llenan más rápido al pasar por una industria.
- La producción de los residuos sólidos está definido por el tipo de ingreso que perciben las familias.
- Los hogares que tienen mayor número de habitantes son las que generan mayor número de residuos
- La separación de los residuos provoca una aceleración en la gestión de los residuos sólidos y un aprovechamiento de los materiales
- Una separación en los residuos minimiza los riesgos para los trabajadores.
- Las plantas tratadoras evitan el uso de los rellenos sanitarios.

Tomando en cuenta estos supuestos el mundo en donde van a interactuar los agentes estará definido por: una interfaz en donde los agentes, celdas o tortugas se relacionan entre sí. Las características del mundo definirán como se moverán los agentes dentro del modelo.

Figura13 Características del mundo en Net Logo para un modelo de gestión de residuos sólidos



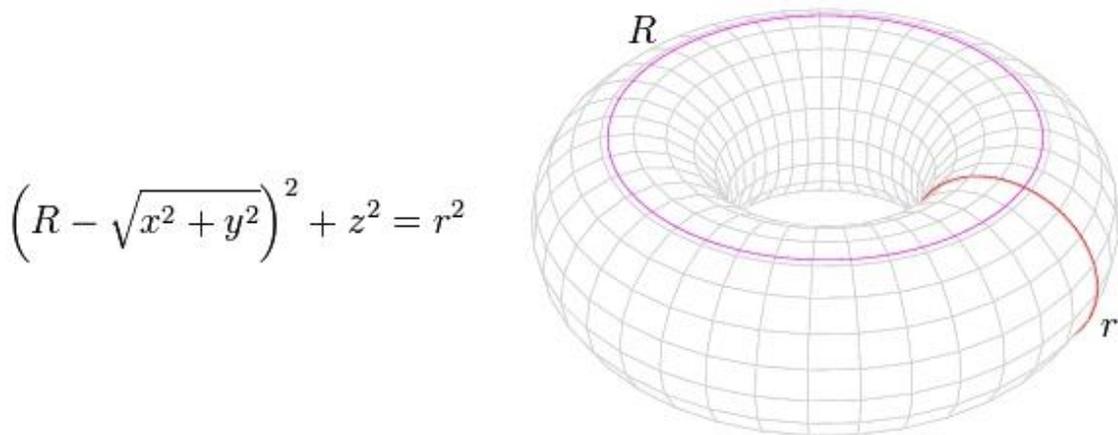
Fuente: Elaboración propia con software Net Log

El mundo dentro del modelo (GRSU) está formado por una cuadrícula de 16 X16, el cual al sumarla tenemos 32 celdas de ancho, sin tomar en cuenta la celda que se encuentra en el centro del mundo, si se tomara en cuenta únicamente se le tendría que sumar una cuadrícula más de lo largo y ancho para obtener una cuadrícula de 33 X 33, es decir una dimensión del modelo de 33 celdas.

Dentro del modelo de GRSU el mundo tomara la siguiente característica: Torus¹ o Toloidal, es decir, la representación de un mundo sin límites, esto quiere decir que la parte inferior y la superior están conectadas y de lado izquierdo a derecho tienen la misma característica. Esto con el fin de no poner barreras de movilidad para las unidades de recolección.

¹ Torus o toloidal: es una representación geométrica con forma de donut “dona”

Figura 15 Representación toloidal



$$\left(R - \sqrt{x^2 + y^2}\right)^2 + z^2 = r^2$$

Fuente:

Por ejemplo: En un mundo virtual las unidades de recolección son las que se mueven a través del espacio, al no tener límites el mundo, el transporte pueden pasar de un lugar a otro sin restricciones, esto con el fin de determinar los costos y el tiempo de recolección a los cuales están sometidos las unidades de transporte dentro de una recolección cotidiana.

Los agentes dentro de un modelo de recolección

En el Net Logo los agentes están representados con patches o tortugas. Los patches están definidos como cuadros computacionales, los cuales contienen distintas características y generalmente pueden representar el territorio, éstos dentro del mundo no son dinámicos, es decir, no tienen movimiento. Las tortugas también poseen distintas características y una de ellas es el desplazamiento dentro del modelo.

La definición de los agentes según Lynee; Gilbert, 2016,4:

Un agente representa a una persona, pero puede representar un hogar, una empresa. La heterogeneidad de los agentes es una característica clave: cada agente puede tener un conjunto único de características y pautas de comportamiento (Epstein, 2006, p 52). Los agentes se distribuyen a través de un espacio previsto por el modelista que puede representar un paisaje o una red social o

espacios más abstractos (Epstein, 2006, p52) Pueden ser distribuidos al azar en todo el espacio de acuerdo con alguna regla. El espacio es típicamente de dos dimensiones: Límites o ser continuo.

Los agentes dentro del modelo GRSU están colocados aleatoriamente, esto con el fin de distribuir con una normal a los agentes, es decir, que al llevar a cabo las interacciones no estén sujetas a predeterminaciones y simplemente no se vean afectados en los resultados de gestión.

Dentro de las características Lynee; Gilbert, 2016,4 exponen tres las cuales son:

- La percepción: Los agentes pueden ver a otros agentes en su barrio y su entorno.
- Rendimiento: los agentes pueden actuar, por ejemplo: el movimiento y la comunicación.
- Memoria: Los agentes pueden recordar sus estados y acciones pasadas.
- Políticas: los agentes pueden tener reglas que determinen lo que hacen.}

Ahora bien, con base en lo mencionado anteriormente las siguientes características dentro de un modelo de GRSU serán las siguientes:

El número de agentes está determinado por el modelador, esto significa, los hogares, industrias y unidades de recolección van en un rango de 0 a 1000 con la finalidad de estudiar el impacto de volumen de residuos en los costos por el número de agentes dentro del modelo. Entre mayor sea el número de hogares e industrias con características diferenciadas la producción de residuos será distinta, ahora al colocar un agente adicional los resultados van a cambiar.

Las características físicas de los agentes dentro del modelo, es decir el tamaño, el color y todos aquellos atributos que van a contener al iniciar el modelo son los siguientes, Véase el cuadro 16

Cuadro 16 Las características de los agentes dentro del modelo son:

Agentes	Características	Característica Física
Hogares	<ul style="list-style-type: none"> • Separan o no separan los residuos • Residencial o habitacional • Número de habitantes • Total de residuos 	<ul style="list-style-type: none"> • Tamaño 1 • Color: Blanco • Localización: aleatorio
Industrias	<ul style="list-style-type: none"> • Tamaño de las industrias • Total de residuos • Reciclan o no reciclan 	<ul style="list-style-type: none"> • Tamaño 1 • Color: rojo • Localizado: aleatorio
Unidades de transporte	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad • Tipo de caja 	<ul style="list-style-type: none"> • Tamaño: 1 • Color: azul • Localizados: en coordenadas específicas

Fuente: Elaboración propia con base en supuestos

¿Cómo medimos el modelo de GRSU?

Dentro de las variables reales se tomó en cuenta el número de hogares, industrias y unidades recolectoras, para describir un promedio de producción de residuos, tomando como base los estimados por SEMARNAT e INEGI, esto con el fin de tomar cifras aproximadas y que el modelo al interactuar entre los agentes sea de forma más real.

El número de habitantes: Dentro del modelo se tomaron dos tipos de hogares: Residencial y habitacional. El residencial tiene un supuesto de cual únicamente se encuentran habitando $1 \leq 5$ es decir, el número de personas que habitan en una residencia no llega a ser superior de 6. El número de personas que residen en un hogar habitacional el rango es de $6 \leq 10$, el supuesto es con respecto a que incrementa el número de personas por ser un hogar habitacional y con menor recursos.

Los residuos sólidos se generan por el número de personas las cuales residen en un tipo de vivienda, sin embargo el promedio de generación de residuos va desde los 700 gramos hasta el kilogramo X día, tomamos el supuesto de los ingresos y con base en ello se determina el número de residuos que generan.

Tipo de vivienda	Rango inferior	Rango superior
Residencial	700 gramos	1 kilogramo
Habitacional	500 gramos	700 kilogramos

Los residuos generados por las empresas

SEMARNAT genero un estimado de producción de residuos, el cual, depende del tamaño de la empresa es el volumen de residuos que va a producir

Tamaño de empresa	Volumen de residuos
Pequeña	7,481 Ton
Mediana	17,083 Ton
Grande	592,664 Ton

Fuente:

Las variables artificiales a diferencia de las variables reales, lejos de medir sirven para realizar algunas interacciones con relación a otros agentes, por ejemplo, una variable artificial es la separación de residuos o el tipo de hogar, el tamaño de industria, entre otros.

Un método para medir las variables: reales o artificiales. Las variables reales: kilogramos de residuos hogares o de industrias, los costos de transporte en términos de unidades monetarias, el promedio de vueltas que realiza dentro del modelo y las variables no medibles son aquellas que no tienen una unidad de medición, por ejemplo, si los hogares separan, no tenemos una unidades de medición con respecto a cuanto reciclan, simplemente se menciona si sepan o no.

La separación de residuos es una característica la cual nos sirve dentro del modelo para reducir los residuos sólidos, no es medible, ya que no sabemos cuántos son

los hogares o industrias que sepan, ni en qué porcentaje lo hacen, sin embargo, sabemos que el separar los residuos los reduce en un 40 % los residuos sólidos (SEMARNAT).

Comienza el modelo de gestión de residuos sólidos

Al iniciar el modelo, este genera un mundo virtual con calles y cuadras formadas con cuadros de información virtual (patches), los cuales permiten dar una representación de ciudad. Las casas están colocadas de forma aleatoria, esto significa que los hogares y las industrias están colocadas de forma impredecible dentro de los cuadros de información de color verde. Los patches de color gris son aquellos que funcionan como vías de comunicación (carreteras).

De lado inferior derecho se encuentra ubicado el vertedero y los vehículos de recolección, así al inicializar el modelo una ciudad con el proceso de recolección aparecerá en la pantalla.

Figura 16. Representación gráfica del mundo, gestión de residuos sólidos



Fuente: Elaboración propia

Se pueden observar hogares de color amarillo y de color blanco, esto debido a sus diferentes características, las empresas al igual que los hogares están colocados dentro de la ciudad con el fin de representar un mundo virtual.

¿Qué es lo que mide el modelo de gestión de residuos sólidos?

Los agentes (casas industrias y camiones) tienen características diferenciales que les permite interactuar de forma distinta en el mundo. Las características de los agentes de igual forma son otorgadas de forma aleatoria y con distintas reglas que nos permite tener distintos tipos de agentes que llevaran a cabo una función dentro del modelo.

La gestión de residuos sólidos son un conjunto de procesos organizados, los cuales dependen uno del otro, es decir sin el proceso anterior no se puede llevar a cabo el siguiente.

Figura17: Relación de la GRSU



Fuente: Elaboración propia

En la generación de los residuos: los agentes (hogares e industrias) están definidos con distintas características las cuales permite tener un cierto monto de residuos sólidos generados. Los hogares y las industrias producen distintos niveles de residuos ya que no lo hacen de manera constante. Una vez generados los residuos la siguiente acción del proceso es la recolección. La cual es realizada por el transporte público.

El transporte es aquel que se encarga de recolectar y transportar los residuos sólidos obtenidos de los hogares y las industrias dentro de las distintas zonas, cada que un

camión pasa por cada uno de los hogares para recolectar los desechos, generan un costo: un desgaste de tiempo y de tipo económico. Después de recoger los residuos estos son llevados a un lugar de depósito.

Los hogares e industrias producen residuos estos intercambian información con los camiones, esta información son justamente los residuos generados, el sistema de recolección se retroalimenta de esa manera de los agentes generadores de

Un cambio en los tiempos de recolección estaría dado por la producción de residuos sólidos, es decir entre mayor es el número de residuos toma más tiempo poder recolectar los residuos, en el caso de los costos de transporte mayor desgaste del vehículo y el consumo de diésel elevan los costos de transporte, por lo tanto, entre mayor es la cantidad de residuos estos afectan de forma positiva a los costos y tiempos de transporte del vehículo.

Cada unidad recolectora recorre una ruta y éste necesita de un tiempo determinado para recoger y transportar los residuos al depósito dependiendo de su capacidad, esto quiere decir, un camión regresara al lugar de depósito cuando su caja este al máximo y este regresara a recoger los residuos cuando se encuentre vacío o no esté llena.

El gobierno es el que determina el gasto hacia el servicio de recolección, cada uno de los camiones de recolección se les otorga un monto para que lleven a cabo su actividad, por lo tanto cada que un camión recorre una ruta consume parte del gasto otorgado para algunos insumos como: diésel, salarios, etcétera.

Si los camiones en vez de pasar hogar por hogar y únicamente se centraran en recorrer rutas que tuvieran contenedores, estos no sólo agilizarían el tiempo de recolección, también se ahorraría en diésel y en el desgaste del transporte.

Interacciones de los agentes y espacio en la GRSU

Se puede definir las interacciones como: el comportamiento que influye en los demás agentes, en este caso la producción de residuos determinaran el

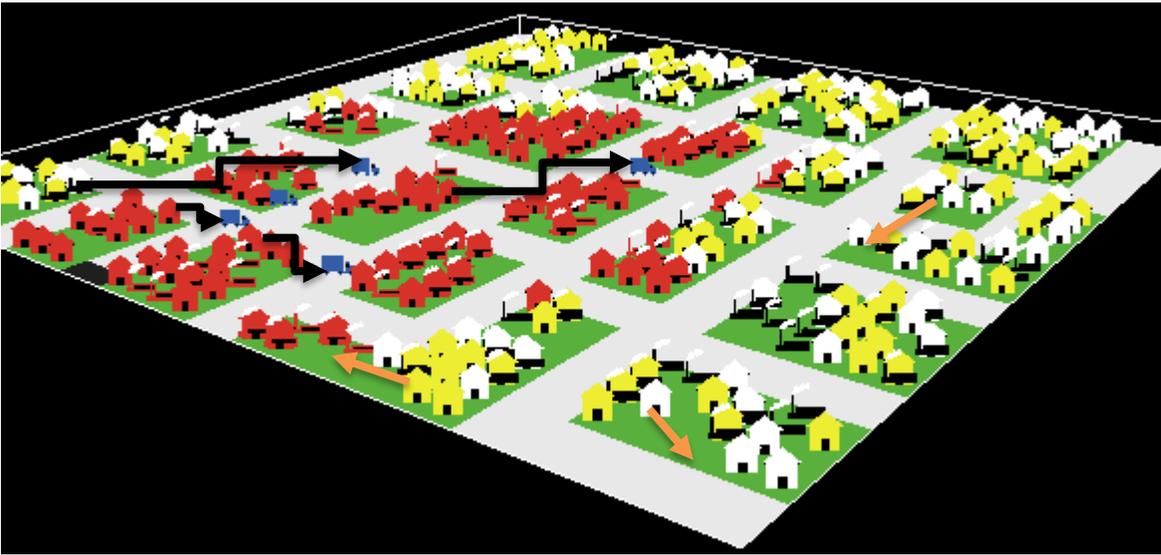
comportamiento del proceso de recolección, otras formas de internación son las que se dan en las siguientes descripciones:

Espacio- agente: Los agentes son colocados de forma aleatoria dentro del territorio, donde se encuentre un cuadro de información que esté consignado para el uso residencial o productivo (representado de color verde), los patches únicamente fungen el papel de formar el territorio. Por lo tanto, la información que intercambian los agentes y los cuadros de información es la del uso del espacio como territorio.

Espacio- agente: Las unidades recolectoras evalúan el espacio en el que interactúan los agentes definidos como: industrias y hogares con el fin de llevar a cabo un proceso de recolección de residuos.

Espacio- unidades de recolección: las unidades de recolección dentro del mundo virtual van a intercambiar información con el espacio, este proceso se lleva a cabo de tal forma que los vehículos de recolección al hacer su ruta correspondiente para levantar los residuos, regresan al vertedero una vez que están llenos. Es decir, la información que intercambian entre ellos son los residuos que son depositados en el vertedero para el vehículo de recolección regrese a su actividad productiva, con el fin de cumplir la meta de recolección de residuos. Para ejemplificar las siguientes interacciones véase la figura 17

Figura 17: Interacción entre los agentes y el espacio



Las flechas de color rojo señalan dentro del modelo la interacción entre agente y espacio



La interacción entre los hogares y las industrias con las unidades de recolección

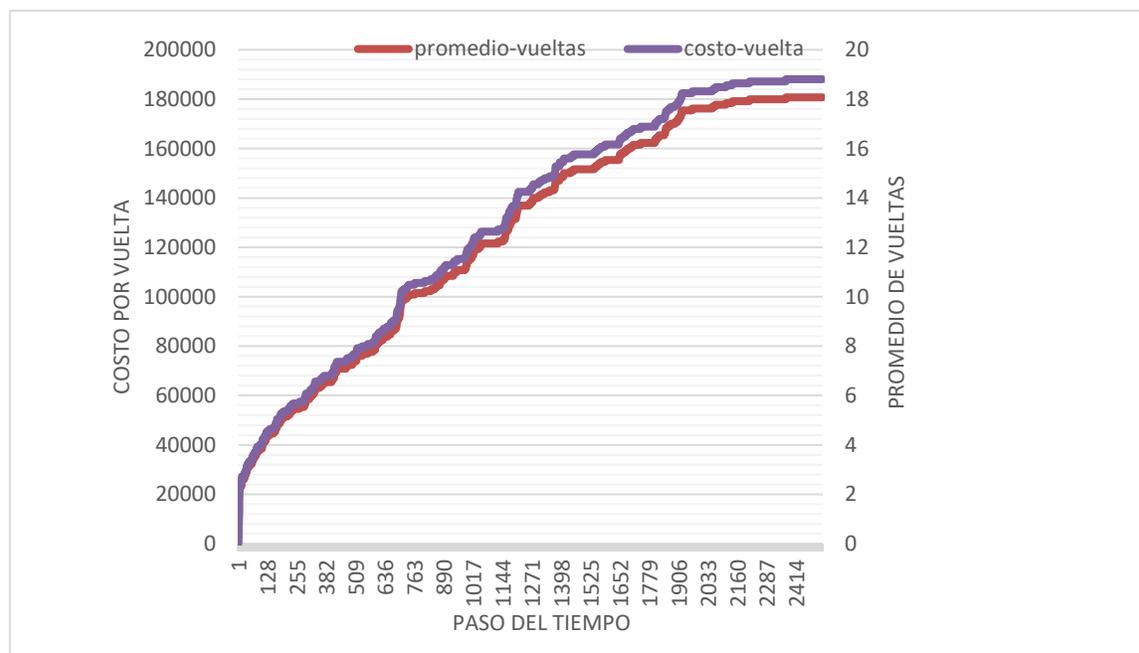
Por lo tanto, el intercambio de información va a determinar la forma de comportamiento de los agentes dentro del modelo, por lo tanto la diferencia en la información va a dar distintos resultados dentro del modelo.

Resultados

Al modelar cada una de las interacciones del modelo basado en agentes se buscaba obtener distintos escenarios que nos presentaran diferencias en los resultados, esto con el fin de analizar los problemas que se presentan en la gestión de residuos sólidos de una ciudad. Esto se pudo realizar moviendo cada uno de los parámetros diseñados en el modelo, como el número de hogares, empresas y unidades de recolección.

Al inicializar el modelo se utilizaron los parámetros sin ninguna modificación al que se le denominó, escenario principal. El cual realizaba todo un proceso de gestión de residuos sólidos con un número de hogares y empresas con la misma proporción, esto para revisar el tiempo de recolección y los costos en los que se puede incurrir al colocar un número determinado de unidades de recolección. Véase figura 17

Figura 17: Gráfica representativa del promedio de recorrido y costo por el mismo en un periodo determinado



Elaboración propia con base en datos del experimento 1

El promedio de vueltas realizadas por las unidades de recolección está calculado por la suma de las vueltas (rutas) que recorre una unidad de recolección entre las mismas unidades de recolección. Esto con el fin de estimar las unidades de recolección con el tiempo de traslado para recoger los residuos de un hogar o de una empresa.

El escenario principal, tiene como supuestos:

Cuadro 17 Número de agentes interactuando en un escenario principal

Unidades de recolección	13
Hogares	338
Empresas	229

Elaboración propia con base en supuestos

El promedio de vueltas con este número de agentes interactuando entre sí es de, 13 vueltas por unidades de recolección, esto significa un mayor número de recorridos por un monto de residuos recolectados y en total los costos trascienden a 130, 807 pesos, esto con el supuesto de que cada vuelta realizada por las unidades de recolección costara en promedio 800 pesos X vuelta, esto para cubrir los gastos de diésel y mantenimiento.

Escenario 2 Máximo de empresas

Este escenario utilizada un máximo de empresas con el fin de representar una ciudad con alta concentración productiva, qué sucede con los tiempos de traslado, con los costos por vuelta y el promedio de recorrido.

Las variables que se modifican en el modelo son

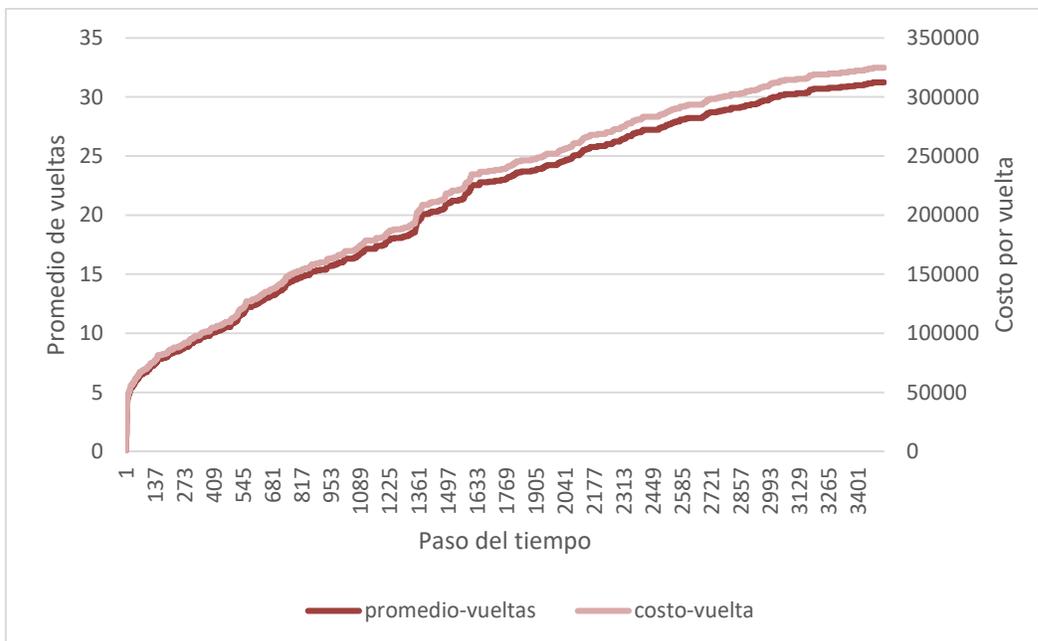
Cuadro 18: las empresas se llevan al límite superior

Unidades de recolección	13
Hogares	338
Empresas	1000

Elaboración propia

Al llevar al máximo el número de las empresas, la intención es la producción de un número superior de residuos con la finalidad de hacer que las unidades de recolección llenen con mayor rapidez sus cajas y realicen un mayor número de vueltas. Cabe mencionar, que los agentes tienen la característica de tener una información aleatoria, por lo tanto los niveles de residuos no se controlan, con el fin de determinar los costos de traslado a un lugar de depósito.

Figura 18: Representación gráfica de un promedio de vueltas y un costo, para una maximización en el número de empresas



Elaboración propia con datos obtenidos en una segunda experimentación

El número promedio de vueltas realizadas por cada unidad de recolección es de 21 vueltas con un tiempo promedio de superior al anterior, a las unidades de recolección no sólo les lleve un tiempo mayor recolectar el total de residuos, también el costo por vuelta trasciende a 221,807 pesos, casi el doble del escenario principal. Una actividad productiva mayor provoca considerables incrementos de costos en la recolección de residuos para quien realice el servicio.

Escenario 3 Incremento de hogares con todo lo demás *ceteris paribus*.

Ceteris paribus es una palabra utilizada en el lenguaje económico para decir que todas las demás variables permanecen constantes, únicamente se va a modificar el número de hogares hasta el nivel máximo para determinar los costos de recolección de residuos, así como el paso del tiempo y el promedio de vueltas realizadas por los vehículos.

Cuadro 19 agentes económicos modificando el número de hogares

Unidades de recolección	13
Hogares	1000
Empresas	229

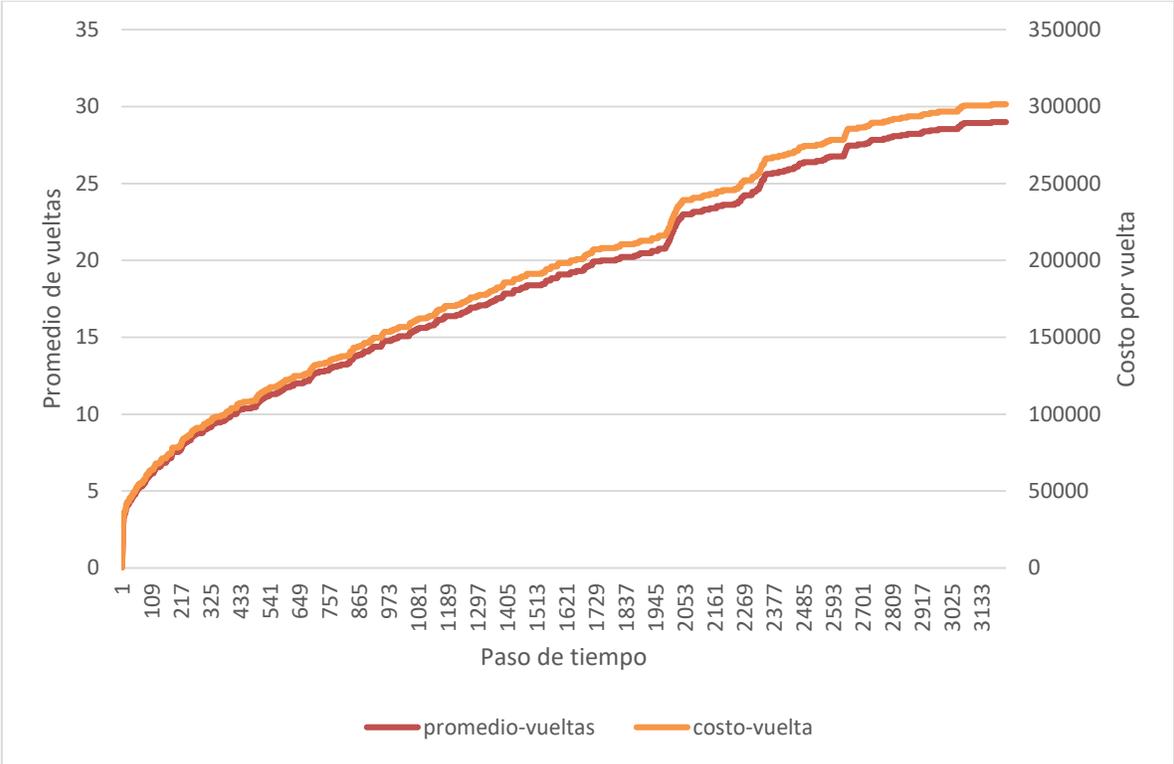
Elaboración propia

Al modificar el número de hogares la generación de residuos va a incrementar pero no en la misma proporción que la generación de residuos por parte de las empresas, sin embargo, el resultado de tener lugares con alta concentración poblacional dificulta una gestión de residuos. El modelo de gestión de residuos se complica al realizarse de hogar en hogar, los tiempos no sólo se ven afectados, las vialidades de tránsito y todos aquellos procesos para gestionar los residuos se ven afectados en cuestiones de tiempo por este sistema de recolección.

El promedio de vueltas para la recolección de residuos tiene una media de 19 vueltas por unidad de recolección, este escenario es superior en 6 unidades más al escenario principal, por lo tanto, la producción de residuos no genera un alto promedio de vueltas por parte de las unidades de recolección y con una media de

costo por vuelta de 196,781 pesos Estos costos no son tan altos a comparación con el escenario 2 el de las empresas. En cuestiones de tiempo véase la figura 19

Figura 19 Representación gráfica de un incremento en las unidades habitacionales



Elaboración propia con datos del experimento 3

Aunque los costos por ruta de recolección no se incrementan significativamente al escenario principal, el tiempo de recolección es similar al del escenario 2, esto da como resultado jornadas de trabajo superiores. Un incremento en el tiempo de recolección ocasiona problemas de acumulación.

Para concluir se realiza un último experimento en el cual las unidades de recolección se incrementan al máximo para determinar si existe una reducción en los costos por vuelta de recolección.

Escenario 4 Incremento de las unidades de recolección

El incremento en las unidades de recolección va en dos sentidos: el primero en la reducción en el número de vueltas y una reducción en el tiempo de recolección esto con el fin de determinar si es necesario el incremento de unidades de recolección o si el efecto es contrario al esperado, ya que un incremento de las unidades de recolección no sólo incrementa en una unidad más el método de gestión de residuos, también implica un costo inicial de compra de vehículos, así como los costos por la recolección, diésel, desgaste, salarios, etcétera.

Un promedio en las vueltas de recolección es de 3 vueltas por unidades de recolección, esto trae como consecuencia una reducción sustancial en el número de vueltas por unidades, ahora el costo por incrementar el número de vueltas en promedio es de 244,516 pesos, esto es mayor a comparación de los anteriores escenarios, sin contemplar el costo monetario de adquirir una unidad más.

Por lo tanto los costos no sólo se incrementaron por el número de vueltas, también por las unidades adquiridas. Sin tomar en cuenta que una unidad puede traer más desventajas, como un problema de movilidad para los ciudadanos a causa de un exceso de unidades de recolección, así como un problema de contaminación.

Conclusión

El modelo no sólo fue una herramienta útil para el diseño de escenarios, el cual nos permitió observar las interacciones que se realizaban entre los distintos agentes. No sólo se llegaron a resultados importantes y significativos. El modelo basado en agentes sirvió para ejemplificar una ciudad con un sistema de gestión de residuos sólidos con distintos escenarios por ejemplo modificando el número de empresas u hogares, ya sea para incrementar el número de residuos o para disminuirlos y poder observar los tiempos y los costos que ocasionan en las unidades de recolección.

Dentro de la simulación se observaron distintos fenómenos que se generan dentro de una ciudad al producir residuos sólidos, la primera son los incrementos en el promedio de vueltas al tener pocas unidades de recolección, sin embargo, esto no incrementaba el costo con respecto a las unidades de recolección. Al incrementar al máximo las unidades de recolección no sólo se observó una disminución sustancial en el promedio de vueltas, sin embargo los costos se elevaron al doble del escenario principal.

Esto nos lleva a replantear en dos aspectos el gasto destinado a la gestión de residuos sólidos, la primera es la aplicación de programas de separación de residuos ya que eso disminuyó los residuos de los hogares en un cierto porcentaje, la segunda el gasto destinado a la compra de unidades de recolección y que tan necesario es conservar el sistema actual de recolección de hogar en hogar.

Este tipo de modelos no sólo funcionan como una forma de experimentar, con base en ellos se pueden crear y modelar políticas para realizar una gestión de residuos con mayor calidad en el servicio, así como mejorar los métodos de recolección.

Bibliografía

- [1] CARDOSO, CAROLINA, BERT, FEDERICO Y PODESTÁ, GUILLERMO. (s.a) Modelos Basados en Agentes (MBA): definiciones, alcances y limitaciones
- [2] DE CARVALHO, CAROLINA (2011) Modelos basados en agentes aplicados a estudios urbanos: Una aproximación teórica, Serie Gráfica, vol.17 pp 29-43
- [3] HAMILL, LYNNE Y GILBERT, NIGUEL (2016). Agent-Based Modelling in Economics. Centre for research in social simulation (CRESS), Universidad de Surrey, UK