

# Aplicación de la Simulación para la mejora del proceso de barrido en las rutas del Ayuntamiento de Orizaba.

Ing. Stephanie García Juárez, M.C. Gabriela Cabrera Zepeda

**RESUMEN:** La problemática de la generación de residuos sólidos urbanos (RSU) afecta gravemente a todos, es por ello que en diversas partes del mundo se están desarrollando y aplicando nuevos programas para la recolección y manejo de RSU. La ciudad de Orizaba siendo reconocido como pueblo mágico de México, es uno de los municipios del estado de Veracruz, que más se ha ocupado de esta problemática. Actualmente el departamento de limpia pública, desea mejorar su proceso de recolección y barrido, para los cual tiene considerado varios proyectos que contribuyan a mejorar la eficiencia del servicio de limpia pública. Sin embargo, una de las limitantes es el presupuesto asignado para este rubro por lo que se requiere que se optimicen las rutas establecidas tanto para la actividad de barrido manual fino como para la recolección de RSU, buscando volver más eficiente la mano de obra y los recursos que se tienen disponibles.

Para lograr mejorar la eficiencia en el servicio de recolección y barrido manual fino, se propone utilizar simulación a través de simio, la cual es una herramienta que permitirá modelar el sistema, , proponiendo diversas alternativas para el área de oportunidad expuesta y facilitar la toma de decisiones para las autoridades correspondientes.

Los resultados esperados buscan mostrar una ruta más eficiente optimizando recursos, minimizando costos y aprovechando tanto la mano de obra disponible, como también los horarios y disponibilidad de los turnos que se tienen para trabajar en la recolección de RSU, impactando favorablemente en el servicio de limpia pública.

Índice de Términos - Barrido, conciencia sustentable, optimización de rutas, recolección de RSU, simulación.

## I. INTRODUCCION

Los problemas que se han generado debido a la falta de prácticas sustentables para el manejo de disposición de RSU en todo el mundo han alterado drásticamente los ecosistemas, teniendo una alta contaminación no solo de formas visuales, ya que estos han tenido consecuencias irreversibles en algunos, que los han llevado a la extinción de flora, fauna y sobre todo el desperdicio de recursos naturales no renovables.

En México la población en zonas urbanas llega a un 72% de ocupación de territorio, y con esta cifra ya se presentan problemas de movilidad, contaminación y deficiencia en los servicios, un ejemplo de esto es la falta de agua en diferentes partes de México. [2]

Se sabe que la degradación ambiental ha logrado alcanzar niveles muy altos en cuanto a la contaminación y generación de residuos sólidos urbanos, a esto se le agrega la falta de conciencia sobre el manejo de estos residuos, propiciando varios problemas a nivel mundial. [1]

En México diariamente se están generando un promedio de 102,895.00 toneladas de RSU, de los cuales solo se llegan a recoger 83.93% y se logra el tratamiento del 78.54% al final y se recicla únicamente el 9.63% de todos los residuos generados [5] a pesar de ser un número muy pequeño, México sigue siendo uno de los principales países que tiene un manejo básico de los Residuos Sanitarios Generados que logran llegar a los rellenos sanitarios, esto deja a países de primer mundo en grandes problemas, pues significa que no tienen un correcto manejo de RSU.

Es por ello que muchos países han buscado desarrollar nuevos proyectos de mejora dentro del tratamiento de residuos sólidos urbanos y de limpia pública, con el fin de minimizar la contaminación que es generada, pues muchos de los residuos que no son tratados tienden a contaminar de forma inimaginable el suelo, mantos

acuíferos y demás ecosistemas que poco a poco se han ido desgastando y perdiendo con el paso del tiempo.

En municipios del Estado de Veracruz, como Fortín e Ixtaczoquitlán, se ha tenido que recurrir a cerrar el abasto de agua cada cierto tiempo para que en temporadas de sequía el agua logre llegar a diferentes lugares, esto de acuerdo a los locatarios que se encuentran viviendo en las diferentes zonas.

Pese a todo esto muchos lugares aún no cuentan con esa conciencia de interés sobre el cuidado del medio ambiente, pensando en que al menos a ellos no les va a afectar, sin embargo, este futuro escabroso se ha vuelto una realidad.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente uno de los municipios que han buscado el desarrollar nuevos programas que permitan crear una conciencia sostenible es el municipio de Orizaba.

El municipio ha buscado aportar su grano de arena desarrollando programas de limpia pública que buscan generar y promover una conciencia más ambiental hacia los ciudadanos, un ejemplo de estos son: el programa “BYP Basura y predial, reciclar te hace ganar” en donde se ofrece a la sociedad orizabeña un apoyo con sus pagos en los servicios que ofrece el ayuntamiento como el predial, limpia pública y agua potable; haciendo que por medio del reciclaje obtengan beneficios. De esta forma el gobierno propone recolectar plásticos reciclables, PEAD, papel y cartón reciclable, tetra pack, vidrio y metal reciclable, para poder canjearlo por tickets de pago o víveres, dependiendo las necesidades de la población. [7]

Otro de los programas que se promueve es el “Programa AUaUc” únicamente aceite usado de cocina, en donde buscan que los ciudadanos separen el aceite de cocina usado que es altamente contaminante para los ríos y lagos pues crea una capa fina por encima del agua y evita la oxigenación de la misma, haciendo que esta agua tampoco pueda reutilizarse o tratarse. En cuanto a los servicios que se ofrece de limpia pública, se cuenta con uno de los programas que les ha traído grandes beneficios, ya que no solo ha generado empleos en el municipio, sino que también busca mantener limpia la ciudad. Este proyecto llevó al municipio de Orizaba a ganarse uno de los premios más prestigiosos en cuanto a la protección del medio ambiente otorgado por la Asociación Técnica para la Gestión de Residuos y Medio Ambiente (ATEGRUS®); en este programa compiten diferentes ayuntamientos y entidades, tanto públicas como privadas de diferentes partes del mundo, otorgando el premio este año del 2020 a empresas,

universidades y comunidades de España, Andorra, México, Chile, Argentina y Perú. [1]

El municipio de Orizaba, Veracruz se ha destacado como uno de los lugares más limpios y con una mayor conciencia ambiental, gracias a la máquina separadora de basura con la que cuenta el municipio, y a través del programa basura por predial “B y P”, entre enero y diciembre de 2017 se logró reciclar un promedio de 439 toneladas de basura, evitando que residuos como el cartón, plástico, papel y madera terminaran en el relleno sanitario. Esto llevó al municipio a ser acreedor dos veces dentro del periodo 2018 a 2020 a una escoba de plata otorgada por Ategrus, teniendo el premio en el 2018 por el manejo de la basura por predial y para el 2020 se les otorgó una escoba de oro por el manejo de residuos sólidos, habiendo logrado inaugurar una planta de separación y clasificación de residuos Ecori, que ha permitido que 7 mil 500 toneladas de desechos puedan ser reutilizados para producir combustible, de acuerdo a datos obtenidos del periódico México desconocido. [2]

El Municipio de Orizaba, se encuentra dividido en 13 rutas que permite dividir el proceso de recolección de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y el barrido manual, de esta forma se supervisan 3 turnos entre las dos actividades y se encuentra bajo la dirección del Departamento de Limpia Pública.

El servicio de recolección de RSU y de barrido manual, son actividades que se llevan a cabo diariamente y se dividen en personal que opera el transporte recolectando la basura, que se distribuye en 3 turnos, matutino, vespertino y nocturno, dependiendo la zona, mientras que el personal de barrido se divide en 2 turnos vespertino y nocturno.

Para realizar el servicio de barrido de toda la ciudad de Orizaba se cuenta con 81 empleados, que cubren diferentes rutas, por su parte para realizar la recolección de RSU, se cuentan con 4 camiones de basura, los cuales operan con 3 trabajadores.

Actualmente el departamento de limpia pública desea mejorar su proceso de recolección y barrido, para lo cual tiene considerado varios proyectos que contribuyan a mejorar la eficiencia del servicio de limpia pública. Sin embargo, una de las limitantes es el presupuesto asignado para este rubro, por lo que se requiere que se optimicen las rutas establecidas tanto para barrido como para la recolección de RSU, minimizando los tiempos de recorrido en cada ruta al igual que la mano de obra que se utiliza, de esta forma se podrán tener ahorros en este proceso y se volverá más eficaz y eficiente, logrando estandarizar este proceso.

Considerando la petición del departamento de limpia pública, este proyecto se orientará a atender las rutas número 7 y 8, ya que son las principales rutas del centro histórico. Estas abarcan desde la Alameda, pasando por

el palacio municipal, llegando a las colonias Emiliano Zapata Sur, Fraccionamiento Empleados Moctezuma, Barrio de La Concordia, Colonia Maestros Pensiones, Barrio los Dolores y la Colonia Omiquila.

Las rutas de barrido son atendidas por 35 trabajadores, en dos diferentes turnos, el vespertino y matutino, en el caso de estas rutas específicamente, se trabaja con los siguientes horarios; en el turno matutino de 4 am a 1 pm y en el vespertino de 1 pm a 8 pm.

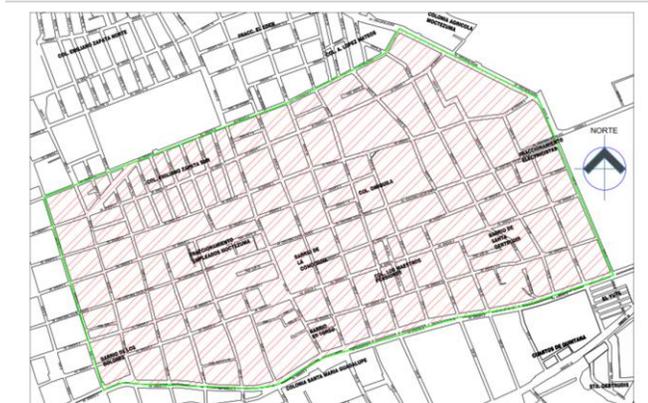


Fig. 1. Mapa de la ruta número 7 en donde se delimitan las calles que abarca.

El departamento de limpia pública busca aprovechar el personal que tiene en estas rutas, sin embargo, ha considerado que se invierte mucho tiempo en el recorrido de estas, por ello se busca disminuir los turnos a solo uno, de esta forma podrán generar un ahorro de recursos.

Otra de las problemáticas dentro de las rutas de barrido es que no se tiene un tiempo estándar para realizar el recorrido con la cuadrilla de la ruta, en ocasiones algunos trabajadores se llevan mucho más tiempo que otros, por ello se busca mejorar el tiempo de este servicio.

Para lograr mejorar la eficiencia en el servicio de esta ruta se propone utilizar simulación a través de simio, la cual es una herramienta que permitirá modelar el sistema, obteniendo diferentes alternativas de solución, esta será utilizada en conjunto con la programación lineal para desarrollar modelos de permitan resolver la problemática expuesta y facilitar la toma de decisiones para las autoridades correspondientes.

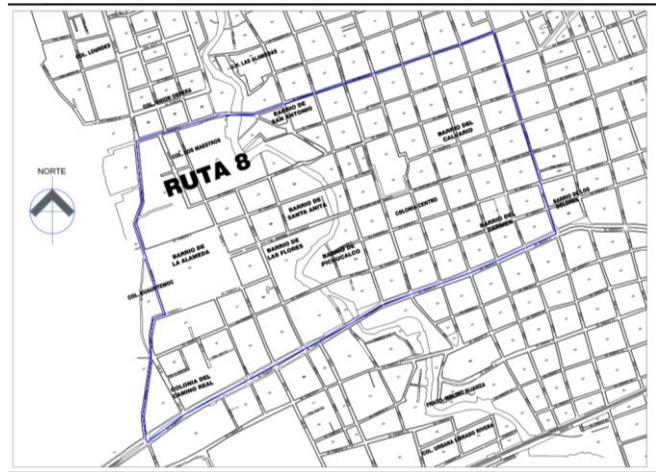


Fig. 2. Mapa de la ruta número 8 en donde se delimitan las calles que abarca.

## I.

### IV. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un modelo de simulación del servicio de barrido fino y residuos sólidos urbanos mediante la aplicación simio con la finalidad de mejorar los tiempos de barrido, disminuyendo los costos de operación y los recursos requeridos por el departamento de limpia pública del Municipio de Orizaba autor correspondiente.

#### Objetivos Particulares.

Realizar un diagnóstico inicial para verificar estado actual de la ruta, por medio de un estudio de tiempos y movimientos del proceso, considerando recursos utilizados y costos de operación de barrido en la ruta no. 7 y la ruta no. 8.

Diseñar el modelo de simulación en el software SIMIO considerando las variables de tiempo, distancia y personal de trabajo.

Realizar las pruebas piloto del modelo de simulación orientado a la reducción del tiempo de ejecución y a la eficiencia del proceso “barrido y recolección de residuos sólidos urbanos”.

Evaluar y analizar los resultados obtenidos para verificar la efectividad de la implementación desarrollada.

Con la información obtenida, generar un manual de barrido para la implementación del mismo a las demás rutas.

### III. JUSTIFICACIÓN

Actualmente México se encuentra sumido en un sinfín de problemáticas que lo afectan desde diferentes perspectivas, dejando a un lado el tema de la economía mexicana, existen diferentes problemas que se están abordando de forma incorrecta, es por ello que el organismo del Conacyt ha buscado desarrollar por medio de los PRONACES (Programas Nacionales Estratégicos) investigaciones innovadoras que atiendan las necesidades prioritarias del país, involucrando a diferentes entes como gobierno, empresas, instituciones, sociedad y al medio ambiente. [4]

Estos programas fortalecen la importancia de este proyecto, comenzando con el Programa de Agentes Tóxicos y Procesos Contaminantes, que buscan consolidar fuerzas para desarrollar investigaciones que generen beneficios para los derechos ambientales y territoriales, así como también a la salud, buscando la restauración de los ecosistemas, la mejora de la calidad de vida, y el bienestar de las comunidades que se encuentran más afectadas.

De igual forma otro de los Programas Nacionales Estratégicos desarrollados por el CONACYT es que corresponde a los Sistemas Socio ecológicos y Sustentabilidad (Pronaces-SSyS), que tiene como principal objetivo impulsar las acciones de conservación, restauración, de uso y aprovechamiento de los diferentes ecosistemas que nos rodean, respetando la biodiversidad desde un enfoque sustentable y sobre todo tomando en cuenta la justicia social permite crear un proyecto en donde no solo busque el bien humano, sino que se aprenda a retribuir a la naturaleza y al mundo por lo que ha dado, buscando un equilibrio. [4]

Es por ello que uno de los principales beneficios que tiene en la parte ambiental es que como gobierno busca no solo la mejora de los parques y vías públicas, sino que también se preocupa por el medio ambiente, llegando a mejorarlos tanto visiblemente como evitando la contaminación en ellos.

La ciudad de Orizaba se ha destacado internacionalmente por los diferentes programas que ofrece al crear una conciencia sobre cultura de sustentabilidad promoviendo atracciones turísticas naturales, como el cerro del borrego, el camino del río en donde se pueden encontrar diferentes especies animales que se han rescatado, ofreciendo espacios de recreación en donde es posible estar en contacto con la naturaleza, sensibilizando a la sociedad en el respeto de los ecosistemas.

De esta forma Orizaba ha buscado mejorar la calidad

de vida y el bienestar de los ciudadanos, por medio de la aplicación de diferentes programas que fomenten una cultura sustentable en la población, preocupándose por la recolección y manejo de RSU de la ciudad, promoviendo que los ciudadanos separen la basura, favoreciendo la recolección, el manejo y tratamiento de RSU sea mucho más efectivo.

Este es otro de los beneficios del proyecto, ya que busca crear una conciencia social y responsable para los ciudadanos, mejorando la calidad de vida y de los establecimientos que los rodean, de forma que no solo se tenga una mejor forma de calidad de vida, sino que también busca crear la conciencia sobre la protección de reservas naturales, de igual forma promoviendo el reciclaje y un buen manejo de la basura.

El siguiente beneficio que se tiene es que el mejoramiento de las rutas de barrido y recolección de basura, permitirá ofrecer mejoras económicas en los programas de limpia pública, buscando minimizar los costos y aprovechando la mano de obra, se logrará mejorar el servicio de este departamento, de tal forma que los gastos sean mínimos y puedan invertir en otros programas con estas ganancias.

Es por ello que al mejorar las rutas ya están establecidas de recolección y de barrido de RSU en la ciudad, es muy importante para minimizar costos y aprovechar al máximo los tiempos y recursos destinados a este programa, con el fin de que al tener un ahorro se continúe ampliando la conciencia sustentable en los ciudadanos, logrando generar menos RSU en un futuro.

El proceso de mejoramiento de la ruta número 7 y 8 de barrido, se realizará diseñando y construyendo un modelo de simulación a través del software SIMIO, el cual generará nuevas oportunidades de mejora. Se podrá ofrecer un mejor servicio y se minimizarán los costos con el fin de poder invertir en nuevos proyectos que beneficien a los ciudadanos de Orizaba.

El beneficio tecnológico que se tendrá es la aplicación de dicho software para obtener una base para trabajar las demás rutas de barrido, de forma que se podrán optimizar las 13 rutas principales, ofreciendo un mejor proceso, que al final se pueda estandarizar.

## V. MARCO TEÓRICO

### A. Residuos Sólidos Urbanos

Los residuos sólidos urbanos por sus siglas RSU, se definen de acuerdo al artículo 5 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR), que la Secretaría de Gobernación emitió en el 2014 como ..“ los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta ley como residuos de otra índole” [3]

Los RSU son producidos por la población en general, se pueden encontrar en las casas, comercios, oficinas, entre otros lugares; ya que son materiales que “sobran” de los productos que se consumen diariamente en estos lugares. Por ejemplo, los envases, envolturas, empaques, y demás productos que son generados en las comunidades urbanas, y que son derivados de procesos de consumo y desarrollo de actividades humanas.

Este tipo de sólidos también puede ser encontrado en espacios públicos, industrias, edificios del sector salud, siempre y cuando se tome en cuenta que los no deben contener toxinas peligrosas ni residuos de alto contaminante, que requieran diferentes servicios de recolección.

### Generación de RSU

Todas las actividades que realiza el ser humano generan cierto desperdicio o residuos, que terminan siendo residuos sólidos urbanos o “basura”, y dependiendo de la composición de estos residuos y la frecuencia con la que se generan deben ser tratados, ya que si se tiene un mal manejo pueden tener grandes repercusiones para el medio ambiente y la salud, pues algunos de los residuos pueden ser tóxicos y generar contaminantes.

De acuerdo a un censo realizado por el INEGI en el 2018 se recolectan en promedio 107,056 toneladas de basura diariamente en todo México, esto nos dice que aproximadamente una persona genera 854 gramos de basura; estos residuos son recogidos principalmente de viviendas, edificios, calles, parques y jardines. [10]

Los estados que encabezan la lista de generación de residuos sólidos urbanos son el Estado de México con un

porcentaje del 11.2% de basura, seguido por Jalisco con un porcentaje del 7.5% y en tercer lugar tenemos al estado de Veracruz, que genera un porcentaje del 5.3%., estos datos son hasta el 2019. [10]

### Recolección de RSU

La recolección de los residuos sólidos urbanos (RSU) se enfoca en dos principales tipos de recogida; la primera hace énfasis en la recolección de los residuos mezclados en los contenedores que no tienen ningún tipo de selección, esto porque no en todos los municipios ni estados se tiene la conciencia de separar la basura de orgánicos e inorgánicos, o bien por parte de la administración que se encuentra en ese momento no se utiliza ningún tipo de estrategia para diferenciar los rsu.

En cuanto a la recogida selectiva se hace por medio de la separación entre el papel, vidrio, envases y materia orgánica; depositando en cada categoría en diferentes contenedores para que de esta forma sea mucho más fácil el reciclaje de los RSU.

En México existe la LGPGIR que es la Ley General para la Prevención y Gestión integral de los Residuos que se encarga de reglamentar y regir en todo el territorio nacional y las zonas donde el país ejerza su jurisdicción el cuidado del medioambiente y el uso de los recursos naturales, en el artículo 10 se establece que los municipios tienen a su cargo el manejo de los Residuos Sólidos Urbanos que trata de llevar a cabo el proceso de recolección el cual consiste en recolectar, trasladar, el tratamiento que deben tener los residuos y su disposición final. Pero la realidad que existe en el país es que muchos municipios no pueden lograr hacer todo el proceso en muchos casos es debido a las capacidades técnicas, o financieras que es lo más común, pero en algunos casos especiales es debido a la falta de cultura, este problema que se presenta en el país es comúnmente el principal obstáculo que rompe la cadena en el país.

### A.I Tipos de recolección de RSU

Las rutas de recolección de basura que podemos encontrar son la recolección a domicilio que es la más habitual en diferentes partes de México, en donde se utilizan vehículos especializados, que cuentan con una tolva en donde se compactan los residuos y demás que es depositado en los diferentes domicilios.

De igual forma existe el barrido tanto manual como automatizado, de esta forma también se recogen los RSU de las calles y vías públicas.

## A.II Limpieza de áreas públicas

De acuerdo a la RAE se define limpieza como “la acción y efecto de limpiar” (RAE, 2001) y es una actividad que tiene como principal objetivo eliminar los RSU de las áreas públicas, buscando que se eliminen papeles, arenilla, hojas, entre los diferentes tipos de materiales que pueden contaminar el suelo.

Para la limpieza de las diferentes áreas se tiene el barrido manual y el barrido mecánico. Para este proyecto se hablará sobre el barrido manual.

Como bien se mencionó anteriormente, existen diferentes leyes y reglamentos en donde se habla sobre la limpieza y manejo de RSU, para el caso del servicio de limpia pública en el municipio de Orizaba, existe un reglamento vigente que permite brindar un mejor servicio a la población sobre la recolección de RSU, el manejo de estos, así como también la limpieza de áreas públicas, como vialidades, parques y demás.

## A.III Barrido manual

El barrido manual busca la limpieza y recogida de forma manual o individual de los residuos que se encuentren en zonas de vías públicas, este tipo de barrido se realiza por medio de un carrito que lleva una porta bolsa en donde se van levantando o barriendo los desechos que son encontrados, de esta forma las calles y vías son despejadas, ayudando también a evitar que las alcantarillas se tapen con estos residuos.

Esta recolección de residuos es realizada por toda la ciudad, apoyándose de diferentes rutas, y al finalizar la ruta, los desechos son depositados en contenedores que se encuentran estratégicamente posicionados.

Dentro del barrido manual existen diferentes herramientas para realizar dicha actividad, se pueden utilizar las hojas de palma o escobillas, que son más grandes para recoger residuos de mayor tamaño, como botellas de plástico, papeles, hojas y demás; y también existe el barrido fino, que es realizado por una escoba y es para eliminar la tierra y arenilla que se puede encontrar en las calles de las ciudades o áreas públicas.

## A.IV Herramientas para la recolección de datos

La recolección de datos nos permite recopilar la información de diferentes fuentes, para así poder tener un panorama mucho más completo sobre el fenómeno que se va a estudiar.

Una vez que se tiene una base de datos, por medio del tratado de estos, podemos obtener información más relevante para realizar una mejor toma de decisiones.

Para este caso se utilizó la herramienta de observación

y toma de tiempos, con el fin de desarrollar un estudio de tiempos y movimientos que permita tomar la información requerida del proceso y las actividades más a detalle que se van a realizar.

## A.V Estudio de tiempos y movimientos

Esta técnica nos permite evaluar un trabajo de forma eficiente y eficaz, este tipo de análisis se encuentra enfocado en la mejora de la productividad y fue desarrollado en Francia a mediados del siglo XVIII, por Jean-Rodolphe Perronet, dentro de la fabricación de clavos y herramientas. El proponía un método para reducir el tiempo de ciclo de fabricación y poder obtener el material fabricado en un menor tiempo posible.

No obstante, hasta finales del siglo XIX, Frederick Taylor conocido como El padre de la administración científica comenzó a realizar los estudios de tiempos y movimientos en donde desarrollo los conceptos de tarea qué eran las actividades que realizaban cada operador o trabajador, y proponía que la planeación del trabajo que cada uno de los empleados realizaba debería tener un tiempo estándar en el cual se deberían pasar para poder calificar a cada operador, en este caso el consideraba que si se cumplía con el tiempo estándar el operador se encontraba capacitado y calificado para seguir con el trabajo. [12]

Con el paso del tiempo Frank y Lillian Gilbreth desarrollaron un nuevo estudio de movimientos en donde desarrollaron 17 movimientos fundamentales denominados Therbligs, y se podrían clasificar en los movimientos eficientes e ineficientes, es decir los que contribuyen o tienen un valor agregado para el trabajo realizado o bien generan costos o desperdicios, en este caso los movimientos ineficientes deberían ser minimizados o eliminados. [3]

La aplicación de este tipo de métodos nos permite analizar la productividad y la eficiencia de los procesos de producción de esta forma podemos verificar si se puede realizar alguna modificación en cuanto al tiempo de proceso y los recursos que se utilizan en estos.

En la mayoría de los casos esta técnica permite estandarizar algún proceso dentro de una industria o bien validar la eficiencia de diferentes métodos, con el fin de mejorar los tiempos de ejecución.

Los requerimientos que se necesitan para llevar a cabo este método son los siguientes:

Que el empleado domine la técnica

El método de este empleado debe estar estandarizado

El empleado debe tener conocimiento de que sus movimientos se están calificando.

El personal que llevará a cabo este proceso debe estar capacitado para realizarlo.

Dentro de este método se tienen dos diferentes técnicas;

La primera se denomina el sistema de estándares de tiempos predeterminados (PTSS), en donde se busca la estandarización de los tiempos en los que se realiza una tarea.

La segunda técnica es el estudio de tiempos con cronómetro, que se basa en tener una mayor exactitud posible, comenzando con un número limitado de observaciones, con el fin de determinar el tiempo necesario para cumplir con una tarea en base a una norma preestablecida.

Otra de las variantes que se tiene es el uso de los horarios restringidos para la visita hacia los clientes, que en este caso también se debe analizar pues el tráfico generado por el uso de los camiones de basura puede hacer que te vuelva mucho más pesado, así que se debe terminar un horario en el que pueda entrar el salir el camión de basura sin afectar el tránsito de ciertos lugares.

Al igual que otras variables se deben manejar es la capacidad del vehículo, ya que al tener diferentes dimensiones o bien ser diferentes tipos de vehículo en este caso no solamente trabajar con los camiones de basura sino también trabajar con el equipo de personal de barrido cuentan con recursos mucho más limitados. [9]

Todos estos métodos deben encontrarse enfocados a la minimización de tiempo y los costos o la generación de una utilidad mayor para poder considerarse como una ruta óptima.

Las estrategias básicas que se pueden combinar son las siguientes:

Envíos directos (Many-to-many): Dentro de esta metodología se busca recorrer una distancia bastante larga para poder realizar la distribución de los productos en base a los costos y la demanda que se tiene, tomando en cuenta la capacidad del vehículo y las restricciones temporales que se pueden presentar.

Envíos (Hub & spoke): En este método se busca la construcción de CEDIS o centro de distribución con el fin de mover el producto desde estos puntos, mejorando la capacidad de los vehículos utilizados, así que la distribución no es de forma uniforme, ya que los vehículos podrán abarcar mucho más terreno, teniendo un menor costo de transporte dentro de la red de distribución

Envíos (Peddling): En este caso Se cuenta con diferentes paradas en donde las rutas son más reducidas, tomando en cuenta que los costos de servicio puede ser muy altos, sin embargo, la capacidad aumenta

drásticamente.

En este caso se busca que el desarrollo de la ruta optimice los tiempos y costos de forma que se encuentre una solución para poder resolver el problema establecido en un inicio, siguiendo un procedimiento combinado de forma que permita el uso de las diferentes restricciones que puedan surgir.

## B. Simulación

La simulación por ordenador permite modelar sistemas tanto reales como hipotéticos por medio de un ordenador, de esta forma el funcionamiento y comportamiento puede ser analizado, y se pueden anticipar a predecir diferentes comportamientos que pueden llegar a desarrollarse en estos modelos.

El origen de la simulación va de la mano con la evolución de la informática, ya que comienza a partir de la segunda guerra mundial, por dos matemáticos J. VNeumann y S. Ulam, que buscaban resolver un problema muy complejo, por ello decidieron realizar diferentes experimentos a base de prueba y error con el fin de poder desarrollar una solución viable. [5]

De este desarrollo se obtuvo el método Montecarlo, que se basa en la generación de números aleatorios y el juego de azar de la ruleta.

Con el paso del tiempo el uso de la simulación dentro de los problemas militares se fue extendiendo, con el fin de desarrollar trayectorias y dinámicas de satélites, misiles y guías que pudieran representar ventajas sobre sus enemigos.

Este tipo de problemas se encuentran basados en sistemas de ecuaciones diferenciales no lineales, y para poder resolver las operaciones deben tomar en cuenta diferentes elementos como también la participación de diferentes variables.

Dentro de la simulación se desarrolló el programa GPSS de IBM (General Purpose System Simulator) y el SIMSCRIPT, que permiten analizar problemas de fabricación dentro de ciertos procesos, logística y transporte, problemas de comunicaciones y servicios, de esta forma se tienen diferentes variables que convergen entre sí y pueden lograr modelar diferentes situaciones, logrando a convertirse en situaciones normales. [8]

Hoy en día existen diferentes softwares que permiten realizar la simulación de los modelos que se van a analizar, para este caso se realizará la evaluación del sistema de recolección de basura de la ruta número ocho, por medio del programa de simulación simio, siendo uno de los proveedores líderes de herramientas y técnicas que se basan en la toma de decisiones aplicada en la simulación para optimizar el rendimiento de la empresa,

El software Simio ofrece una interfaz amigable para poder modelar cualquier tipo de situación, con el fin de mejorar la rentabilidad de los procesos, pues este simulador por medio de animación, permite realizar los modelos y optimizarlos de forma que cualquier tipo de sistema pueda ser analizado. [11]

Esta paquetería no requiere algún tipo de programación, sin embargo, si se requiere se pueden combinar las diferentes herramientas, permitiendo la optimización de recursos clave.

Dentro de las ventajas que tiene este modelo es que se puede integrar con herramientas de Excel, en este caso se puede trabajar con Excel Solver para el desarrollo de un modelo de programación lineal que permita ser simulado y probado.

Otra de las ventajas que tiene la simulación del programa de Simio es que gracias a la tecnología 3D que tiene el programa permite tener una mejor forma de visualizar los procesos y las rutas analizadas, así se pueden ver los cambios que se han aportado dentro del modelo para ser analizados.

El programa Simio ha tenido éxito en la aplicación de la cadena de suministro de las empresas, en diversos aeropuertos y en las terminales portuarias, ya que no se requiere de un código para desarrollar los procesos para analizar.

De igual forma cuenta con elementos de creación rápida y algunos de los elementos propios de ciertos procesos como por ejemplo de logística, incluyendo logística inversa, manejo de materiales, operaciones como bandas de transporte, grúas viajeras, operadores y montacargas; siendo uno de los programas mucho más completos en cuanto al desarrollo de simulaciones.

## VI. METODOLOGÍA

En este apartado se presenta la metodología propuesta para desarrollar el proyecto de tesis, la cual consta de tres etapas las cuales se describen a continuación:

Fig. 3 Metodología aplicada.

### Etapa 1 Análisis de la información inicial.

Se realizó la recolección básica y el análisis de información sobre la ruta número siete y ocho, identificando las colonias que abarca y detectando si existe interferencia con alguna otra ruta, lo anterior permitirá establecer el trazo de la ruta.

### Recolección de datos y estudio de tiempos y movimientos.

Se realizó la recolección de la información por medio de un estudio de tiempos y movimientos que consistió en dar seguimiento a la ruta número siete y ocho, tomando el tiempo en que los trabajadores realizan el barrido de la calle, incluyendo tiempos en los que paran por cansancio, realizan movimientos para recoger la basura y vaciarla en el bote que transportan, hasta que llegan al final de la ruta.

### Evaluación de tiempos muertos, ocio, tiempos efectivos y obtención de efectividad del proceso.

Estos datos fueron registrados en un documento de Excel en donde se analizaron para determinar los tiempos de ocio y tiempos muertos de los trabajadores, de igual forma se detectarán las actividades que no generan valor. Todo esto permitió analizar de mejor forma el tiempo en que un trabajador recorre la ruta establecida.

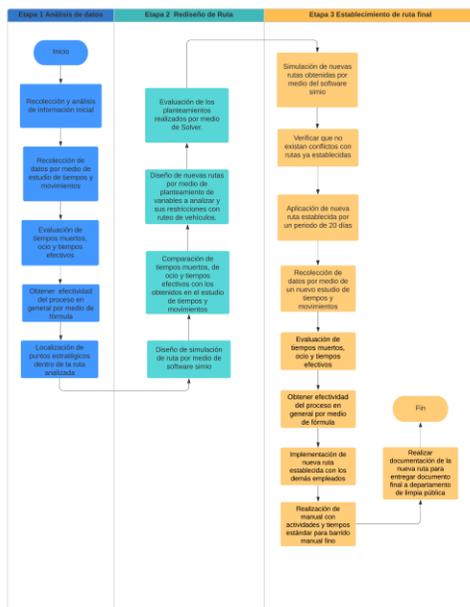
### Localización de puntos estratégicos dentro de la ruta analizada.

Al darle seguimiento a la ruta establecida se encontraron los puntos estratégicos en donde el trabajador deposita la basura que ha acumulado, de igual forma se analizó si los residuos son transportados a otro lugar o bien, se quedan en ese espacio, esperando la ruta del camión de basura para ser recolectados, esto es debido a que los trabajadores al ir caminando tienen una capacidad limitada para transportar los RSU.

### Etapa 2 Rediseño de rutas

### Diseño y construcción del modelo de simulación de ruta número siete por medio del software simio.

Para este paso se desarrollará por medio de simulación



en el software simio, la ruta inicial que se tiene, es decir, se agregaran todos los tiempos y la ruta que siguen los barrenderos para poder establecer el registro de su actividad.

### **Comparación de tiempos muertos, de ocio y tiempos efectivos con los obtenidos en el estudio de tiempos y movimientos.**

Se realizará la comparación de la información del primer análisis calculado y el segundo análisis realizado por medio del simulador simio.

### **Diseño de nuevas rutas por medio de planteamiento de variables a analizar y sus restricciones con métodos para la optimización de ruteo de vehículos.**

Para la evaluación de rutas se verificará por medio de modelos de ruteo de vehículos para comprobar si existe una mejor forma de llevar a cabo este trabajo, analizando distintas rutas, tomando en cuenta las variables establecidas como horarios de recolección, rutas de recolección, capacidad de carga de barrendero entre otras variables que serán desarrolladas durante el análisis.

### **Evaluación de los planteamientos realizados por medio de un Solver.**

Se desarrollarán diferentes modelos por medio de un software Solver (Solver de Excel, IBM Cplex o Lingo) para poder definir qué ruta será mejor para poder implementar o si es que la que se encuentra actualmente es la mejor opción.

Todo esto será diseñado por medio de planteamientos de la programación lineal, al tener distintas opciones se analizará cual es la mejor, definiendo cual es la que logró optimizar los recursos que se tienen para llevar a cabo estas actividades.

## **Etapas 3 Establecimiento de ruta final**

### **Simulación de nuevas rutas obtenidas por medio del software Simio.**

Por medio de los modelos analizados en programación lineal, se realizará una segunda simulación para verificar los tiempos y los recursos que se pueden optimizar por medio de este nuevo modelo, de esta forma se podrán proponer nuevas rutas para ser establecidas.

### **Verificar que no existan conflictos con rutas ya establecidas.**

Para este caso se analizará si la ruta no tiene ningún problema con las demás rutas establecidas de esta forma procederá a ser aplicada.

### **Aplicación de nueva ruta establecida por un periodo**

En este paso se busca aplicar la ruta establecida por medio de programación lineal, con el fin de verificar que sea realizada de forma correcta y sin errores, por un solo empleado con el fin de verificar si existe algún problema.

### **Recolección de nuevo estudio de tiempos y movimientos**

Para este paso se volverá a realizar la toma de los tiempos y movimientos, después de hacer la prueba en un periodo de tiempo con esta nueva ruta obtenida.

Si se encuentra que la optimización de los recursos ha sido satisfactoria será empleada de forma permanente.

### **Evaluación de tiempos muertos, ocio, tiempos efectivos y obtención de efectividad.**

Se obtendrán nuevamente los datos por medio de un estudio de tiempos y movimientos realizado dentro de la ruta número siete.

### **Implementación de nueva ruta establecida con los demás empleados.**

En este paso se busca aplicar la ruta nueva con los demás empleados, con el fin de verificar que todos entiendan correctamente la nueva ruta.

### **Estandarización de proceso de barrido.**

Se realiza un manual de actividades y tiempos estándar para estandarizar el proceso de barrido manual fino de las rutas.

### **Realización de documentación de la nueva ruta para entregar documento al departamento de limpieza pública.**

En este paso se realizará el informe de la nueva ruta que permitirá hacer más eficiente la recolección de la basura en la zona establecida y considerando la optimización de los recursos.

## **CONCLUSIÓN**

El proyecto se encuentra en desarrollo a la fecha se ha, realizado en su totalidad la Etapa 1 y como parte de la Etapa 2 se ha iniciado el Diseño y construcción del modelo de simulación en SIMIO, basándose en los datos del estudio de tiempos y movimientos recolectados en la ruta 7.

A partir de la simulación de analizaran los tiempos muertos, y efectivos con la finalidad de lograr la

eficiencia del proceso de barrido, lo cual permitirá crear las condiciones de diseñar nuevas rutas por medio de modelos de ruteo de vehículos para comprobar si existe una mejor forma de llevar a cabo este trabajo, analizando distintas rutas, tomando en cuenta las variables establecidas como horarios de recolección, rutas de recolección, capacidad de carga de barrendero entre otras variables que serán desarrolladas durante el análisis.

Los resultados obtenidos de la simulación serán presentados a las autoridades del ayuntamiento de Orizaba, con la finalidad de que sean implementadas las mejoras propuestas.

### RECONOCIMIENTO

Quiero agradecer al Tecnológico de Orizaba, por darme la confianza y abrirme sus puertas para estudiar esta maestría; a Dios por darme la fuerza para comenzar este proyecto, a mi abuela Juana que siempre me alienta a seguir adelante, aunque no esté físicamente conmigo, sé que siempre está orgullosa de mí. También quiero agradecer a mi familia, mis padres y mi esposo, pero sobre todo a mis hijos, que me impulsan para cumplir mis metas y superarme día a día.

### REFERENCES

- [1] Álvarez A. (2021) Optimización del sistema de rutas para la recolección de residuos sólidos urbanos en el cantón San Lorenzo, Provincia de Esmeraldas. Universidad Técnica estatal de Quevedo. Facultad de Ciencias Ambientales. Ecuador. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/6212/1/T-UTEQ-150.pdf>
- [2] Andrade, A. M., A. Del Río, C., & Alvear, D. L. (2019). Estudio de Tiempos y Movimientos para Incrementar la Eficiencia en una Empresa de Producción de Calzado. *Información tecnológica*, 30(3), 83–94. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000300083>
- [3] Apaudin, O., & Gonullu, M. T. (2007). Route optimization for solid waste collection: Trabzon (turkey) case study. *Global NEST Journal*, 9(1), 6–11. <https://doi.org/10.30955/gnj.000388>
- [4] Apaydin, O., & Gonullu, M. T. (2008). Emission control with route optimization in solid waste collection process: A case study. *Sadhana*, 33(2), 71–82. doi:10.1007/s12046-008-0007-4
- [5] Asefi, H., Lim, S., & Maghrebi, M. (2017). Adaptation of simulated annealing to an integrated municipal solid waste location-routing problem. *International Journal of Logistics Systems and*

- Management*, 28(2), 127. doi:10.1504/ijlsm.2017.086348
- [6] Atergus Staff (2021) ATEGRUS® hace entrega de los Premios Escobas de Plata®, Oro® y Platino® a diferentes entidades por su protección al medioambiente. Recuperado de <https://www.ategrus.org/noticias/escobas-de-plata-oro-y-platino-2020-21/>
- [7] Batista, R. E., Lao León, Y. O., & Moreno, M. R. (2019). UNA MIRADA AL RUTEO DE VEHÍCULOS: MÉTODOS, TÉCNICAS Y ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO. *Revista de Investigación Latinoamericana en Competitividad Organizacional*, 1(3), 1–10. <https://www.eumed.net/rev/rilco/03/ruteo-vehiculos.pdf>
- [8] Betanzo-Quezada, E., Torres-Gurrola, M. N., Romero-Navarrete, J. A., & Obregón-Biosca, S. A. (2016). EVALUACIÓN DE RUTAS DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS CON APOYO DE DISPOSITIVOS DE RASTREO SATELITAL: ANÁLISIS E IMPLICACIONES. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(3), 323–337. <https://doi.org/10.20937/rica.2016.32.03.07>
- [9] Cavdar, K., Koroglu, M., & Akyildiz, B. (2016). Design and implementation of a smart solid waste collection system. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13(6), 1553–1562. doi:10.1007/s13762-016-0993-4
- [10] IISEMÉXICO. (s. f.). ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS. IISE-mexico. <https://www.iisemexico.com/estudio-de-tiempos>
- [11] Jiménez C. (2021) Optimización de rutas de recolección de residuos sólidos urbanos, en la zona centro de la ciudad de San Cristóbal de las Casas, Chiapas. UNICACH. Recuperado de <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/2031>
- [12] Korkut, N. E., Yaman, C., Küçükağa, Y., Jaunich, M. K., & Demir, İ. (2017). Greenhouse gas contribution of municipal solid waste collection: A case study in the city of Istanbul, Turkey. *Waste Management & Research*, 36(2), 131–139. doi:10.1177/0734242x17744656
- [13] Kulcar, T. (1996). Optimizing solid waste collection in brussels. *European Journal of Operational Research*, 90(1), 71–77. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)00311-4](https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)00311-4)
- [14] Malakahmad, A., Bakri, P. M., Mokhtar, M. R. M., & Khalil, N. (2014). Solid Waste Collection Routes Optimization via GIS Techniques in Ipoh City, Malaysia. *Procedia Engineering*, 77, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.07.023>

- [15]Merchante, A. (2010). Programación lineal (Historia). Descartes. [http://recursostic.educacion.es/descartes/web/Descartes1/Bach\\_HCS\\_1/Programacion\\_lineal/Pl\\_historia.htm](http://recursostic.educacion.es/descartes/web/Descartes1/Bach_HCS_1/Programacion_lineal/Pl_historia.htm)
- [16]Minga M. & Zhiminaycela Y. (2019) Trabajo experimental: Optimización de las rutas de recolección de los residuos sólidos urbanos del centro Cantonal Sigsig. Universidad Politécnica Salesiana. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18149/1/UPS-CT008622.pdf>
- [17]Municipio de Orizaba. (2016). Basura y Predial Reciclar te hace Ganar [Diapositivas]. UV Orizaba. <https://www.uv.mx/orizaba/cosustenta/files/2014/05/Programa-BYP-Mpio-de-Orizaba.pdf>

### **Biografía Autor(es)**

La Ing. Stephanie García Juárez . Esta autora es Ingeniero Industrial y de Sistemas graduada del Instituto Tecnológico de Monterrey Campus Veracruz.

Con experiencia en el área de logística en donde desarrolló el puesto de supervisora de embarques y producto terminado. Que desarrolló desde junio de 2017 hasta marzo de 2019.

Actualmente es estudiante de la Maestría en Ingeniería Administrativa en el Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de Orizaba.

La M.C. Gabriela Cabrera Zepeda Esta autora es profesora investigadora de la Maestría en Ingeniería Administrativa del Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de Orizaba, es Lic. en Informática, Maestro en Ciencias en Ingeniería Industrial, ha fungido como Coordinadora de la Maestría en Ingeniería Administrativa, como jefa de la División de Estudios de Posgrado, como subdirectora de Planeación y Vinculación, como subdirectora Académica. Actualmente imparte cátedra en los programas de Maestría en Ingeniería Administrativa y en la Licenciatura en Ingeniería Industrial en el Tecnológico Nacional de México campus del Instituto Tecnológico de Orizaba.