



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Revisión sistemática: Técnicas de solución para el problema  
de enrutamiento vehicular en la gestión de residuos sólidos.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

Ingeniero Ambiental

**AUTORES:**

Davila Gomez, Katherine Milouska (orcid.org/0000-0002-0431-3085)

Espinoza Diaz, Víctor Jesus (orcid.org/0000-0002-3476-2412)

**ASESOR:**

Mg. Ugarte Alván, Carlos Alfredo (orcid.org/0000-0001-6017-1192)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y Gestión de los Residuos

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo Sostenible y Adaptación al Cambio Climático

LIMA – PERÚ

2022

## **Dedicatoria**

Esta tesis está dedicada a nuestros amados padres, por su esfuerzo inconmensurable, por su amor infinito, y quienes serán luz, guía y fortaleza por la eternidad; así como a nuestras familias, quienes son la razón del esfuerzo constante y arduo para el logro de nuestros objetivos.

## **Agradecimiento**

Quisiéramos manifestar un especial agradecimiento a nuestros padres por su amor, paciencia y entrega abnegada a nuestra educación y formación como seres humanos y ciudadanos; a nuestros hermanos por su fe, por su confianza, su apoyo y la compañía de vida que su presencia representa. También agradecemos a nuestro asesor, quien nos guio y motivo durante todo este proceso de investigación, y finalmente a la Universidad Cesar Vallejo por su soporte y contribución en nuestro proceso de formación profesional.

## Índice de Contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de Contenidos.....	iv
Índice de tablas .....	v
Índices de gráficos y figuras .....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. METODOLOGÍA .....	26
3.1 Tipo y diseño de investigación .....	26
3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización.....	26
3.3 Escenario de estudio.....	26
3.4 Participantes .....	27
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	27
3.6 Procedimiento .....	28
3.7 Rigor científico .....	29
3.8 Método de análisis de datos.....	30
3.9 Aspectos éticos.....	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	31
V. CONCLUSIONES .....	45
VI. RECOMENDACIONES.....	47
REFERENCIAS.....	48
ANEXOS .....	54

## Índice de tablas

Tabla 1: Antecedentes .....	6
Tabla 2: Matriz de Caracterización.....	26
Tabla 3: Análisis de las referencias examinadas.....	31
Tabla 4: Estudio Caso de (I) Programación Lineal.....	32
Tabla 5: Resultados comparativos entre la situación actual y la aplicación de la programación lineal – Caso Urfa/ Turquía.....	34
Tabla 6: Resultados Diferenciales entre la situación actual y la aplicación de la programación lineal – Instancia a pequeña escala - Caso Lyon, Francia. ....	36
Tabla 7: Resultados Diferenciales entre la situación actual y la aplicación de la programación lineal – Instancia a mediana escala - Caso Lyon, Francia.....	36
Tabla 8: Resultados Diferenciales entre la situación actual y la aplicación de la programación lineal Instancia a gran escala- Caso Lyon, Francia. ....	37
Tabla 9: Resultados comparativos entre la situación actual y la aplicación de la programación lineal – Distancias - Caso Cuzco/Perú. ....	38
Tabla 10: Resultados comparativos entre la situación actual y la aplicación de la programación lineal - Combustible- Caso Cuzco/Perú.....	39
Tabla 11: Resumen de la Metodología Programación Lineal.....	40
Tabla 12: Estudio Caso – (II) Algoritmo Genético y (III) Problema de Vendedor ambulante.....	41
Tabla 13: Resultados comparativos entre la situación actual (prácticas) y la aplicación del Algoritmo Genético – caso Sfax/Túnez.....	42
Tabla 14: Resultado de los Valores de las funciones objetivas y resultado óptimo, aplicación de (TSP) – caso Estambul/Turquía. ....	42
Tabla 15: Análisis general de las metodologías (I), (II) y (III) .....	43

## Índices de gráficos y figuras

Figura 1: Representación del Algoritmo Genético .....	25
Figura 2: Procedimiento de búsqueda de referencias .....	28

## Resumen

Esta investigación aborda las técnicas de solución del problema del enrutamiento vehicular en la Gestión de Residuos Sólidos Municipales, por medio de la revisión sistemática de diversas técnicas y sus respectivos casos de aplicación, se analizó las diferentes características, particularidades y resultados de cada uno de ellos.

Para la revisión sistemática se efectuó una exploración de referencias bibliográficas en diferentes bancos de datos que en su mayoría fueron halladas en Science Direct (<https://www.sciencedirect.com/>) y Springerlink (<https://link.springer.com/>). Para seleccionar los estudios que se han incluido en la presente investigación se hizo una búsqueda principalmente entre los años 2018 y 2022 predominando artículos científicos en lengua inglesa.

Los estudios incluidos abarcan las técnicas de programación lineal en su mayoría, así como la técnica del algoritmo genético (SGA) y problema del vendedor ambulante (TSP), sin adentrarnos en la modelación matemática de cada uno de las técnicas estudiadas, lo que nos permitió efectuar un cotejo informativo de los resultados alcanzados en cada uno de los estudios en los que fueron aplicados, priorizando los resultados de los tiempos de recorrido, costo operativo e impactos ambientales generados.

Dicha revisión sistemática concluye en que la aplicación de las técnicas de soluciones al problema de enrutamiento vehicular optimiza las circunstancias actuales en los diversos casos de estudio en relación a distancias, tiempos, costos operativos e impactos generados, considerando restricciones particulares, tipo de vehículos, distancias entre los nodos y lugares de disposición final y el tipo de residuos que se vayan a trasladar.

Palabras clave: Enrutamiento vehicular, Residuos sólidos Municipales, Programación lineal, Algoritmo genético, Problema del vendedor ambulante.

## **Abstract**

This research deals with the techniques of solving the problem of vehicle routing in Municipal Solid Waste Management, through the systematic review of various techniques and their respective application cases, the different characteristics, particularities and results of each of them were analyzed.

For the systematic review, an exploration of bibliographical references was carried out in different databases, which were mostly found in Science Direct (<https://www.sciencedirect.com/>) and Springerlink (<https://link.springer.com/>). To select the studies that have been included in the present investigation, a search was carried out mainly between the years 2018 and 2022, predominantly scientific articles in English.

The studies included mostly cover linear programming techniques, as well as the genetic algorithm (SGA) technique and the traveling salesman problem (TSP), without delving into the mathematical modeling of each of the techniques studied, which allowed us to perform an informative comparison of the results achieved in each of the studies in which they were applied, prioritizing the results of travel times, operating costs and environmental impacts generated.

This systematic review concludes that the application of the techniques of solutions to the vehicular routing problem optimize the current circumstances in the various case studies in relation to distances, times, operating costs and impacts generated, considering particular restrictions, type of vehicles, distances between the nodes and places of final disposal and the type of waste to be transferred.

**Keywords:** Vehicle routing, Municipal solid waste, Linear programming, Genetic algorithm, Traveling vendor problem.

## I. INTRODUCCIÓN

El manejo eficiente de los residuos sólidos en diversos municipios a nivel mundial, representa uno de los retos más inescrutables de la sociedad contemporánea, pero, incuestionablemente este desafío es aún más retador para aquellos municipios pertenecientes a los países que se encuentran en vías de desarrollo, cuya infraestructura y sistemas de gestión para el manejo de residuos sólidos no siempre tiene la capacidad de ser atendida ante la creciente cantidad de generación de residuos sólidos causada por el acelerado crecimiento de la demografía, la economía y la urbanización. (Guerrero, et al., 2013)

En ese sentido, el BANCO MUNDIAL, (2018) proyecta que, debido a la acelerada urbanización, al incremento de la población global y al crecimiento económico, se producirá un aumento del 70% de residuos a nivel mundial en los próximos treinta años, además de lograr generar 3400 millones de toneladas de residuos anualmente, es por eso que la adecuada gestión de los residuos es de suma importancia para las organizaciones gubernamentales a nivel mundial, ya que ellos lideraran la toma de decisiones respecto al manejo y tratamiento de los residuos sólidos que según Ugwu et al. (2021) abarcan la generación, recolección, almacenamiento, procesamiento/recuperación, transporte y eliminación de los residuos sólidos.

En el presente trabajo de investigación se trata de forma particular sobre los componentes de recolección y transporte de los residuos sólidos debido a que estas actividades forman parte de la gestión de residuos sólidos urbanos y contribuyen en gran medida al costo total de la gestión en cualquier país. Mas del 60% de los costos en la gestión de residuos sólidos en diversos países se deben a la recolección y al transporte, lo que incluye la mano de obra, el alto costo de los combustibles, el mantenimiento de maquinaria y equipos.(Monzambe et al., 2021).

El problema del enrutamiento vehicular puede proporcionar soluciones y reducir los costos de las operaciones así como su impacto directo en la reducción del consumo de combustible que se traduce en la minimización de la generaciones de gases contaminantes como el CO<sub>2</sub> (Toro et al., 2020). El enrutamiento de vehículos se refiere al orden en que se visitaran los diferentes puntos de interés con uno o más vehículos, y busca disminuir las distancias y el tiempo del recorrido generándose

el problema de enrutamiento de vehículos como VRP (Vehicle Routing Problem) (Hoyos, p. 15, 2020)

Teniendo en cuenta el tipo de problema que se estamos abordando, la aplicación de programación matemática en la gestión de residuos se puede clasificar en tres grupos, problemas de transporte, problemas de ubicación de instalaciones y una mezcla de problemas de transporte, ubicación de instalaciones y utilización de recursos. (Monzambe, et al 2021).

Después de la revisión de diversa bibliografía se ha verificado que existen trabajos de investigación sobre la gestión de los residuos sólidos, cuyos autores han implementado técnicas para resolver problemas de optimización y tratar el problema de enrutamiento de vehículos para la recolección y el transporte de los residuos sólidos urbanos. Tal como se ha mencionado, el problema creciente de la rápida urbanización representa una amenaza ambiental con respecto al manejo de los residuos sólidos, problema de gran relevancia en países en desarrollo. En esta investigación las referencias consideradas ponen especial atención en el enrutamiento vehicular, por lo que nos enfocaremos en analizar la metodología correspondiente a la (I) Programación lineal (3 casos), (II) Programación genética (1 caso) y (III) Problema del vendedor ambulante (1 caso), con fin de evaluar la aplicabilidad de los modelos estudiados en el mundo real, debido a que numerosas municipalidades de nuestro país, diseñan planes de recolección de forma manual e incipiente, lo que conlleva a soluciones subóptimas y de gran costo, por lo que es importante conocer las técnicas aplicadas para la recolección de residuos en sociedades más desarrolladas, y que el conocimiento de ellos pueda generar cambios sustanciales, prácticas y de bajo costo en sociedades en vías de desarrollo como la nuestra ya que según Dotoli, et al. (2017), optimizar el proceso de recolección de los residuos municipales genera impactos ambientales positivos, y representa un desarrollo económico.

En ese sentido, se tiene como problemas específicos los siguientes:

PE 1: ¿Qué técnica emplea el menor tiempo para resolver el problema de enrutamiento vehicular en la gestión de residuos?

PE 2: ¿Qué técnica emplea el menor costo operativo para resolver el problema de enrutamiento vehicular en la gestión de residuos?

PE 3: ¿Qué técnica genera el menor impacto ambiental para resolver el problema de enrutamiento vehicular en la gestión de residuos?

El objetivo de este estudio es la de analizar las diferentes técnicas de solución del problema del enrutamiento vehicular en la Gestión de Residuos Sólidos Municipales.

Y como objetivos específicos los siguientes:

OE 1: Determinar la técnica con menos tiempo de cobertura para resolver el problema de enrutamiento de vehículos en la gestión de residuos sólidos.

OE 2: Determinar la técnica con menor costo operativo para resolver el problema de enrutamiento de vehículos en la gestión de residuos sólidos.

OE 3: Determinar la técnica que genera menor impacto ambiental para resolver el problema de enrutamiento de vehículos en la gestión de residuos sólidos.

## II. MARCO TEÓRICO

El creciente aumento de la población mundial, ligado al vertiginoso desarrollo económico y el aumento de los niveles de vida, han generado gran cantidad de residuos sólidos municipales, lo que se ha convertido en uno de los problemas más apremiantes de nuestra sociedad a nivel mundial. El problema de los residuos sólidos no gestionados es particularmente grave en los países en desarrollo debido a la rápida urbanización, la falta de financiación, tecnología y gobernanza. (Singh, 2019) además este mismo autor señala que la gestión de los residuos sólidos (SWM) es una actividad transversal que involucra la generación, recolección, transferencia, tratamiento y la disposición final de estos residuos, es por eso que su manejo inadecuado y una deficiente red de carreteras, restringe y dificulta la recolección y el transporte a los sitios de eliminación.

La gestión de los residuos sólidos municipales es un proceso complejo que incluye diversas actividades operacionales como: recolección, pretratamiento, distribución de residuos, reutilización de componentes, reciclaje y valorización, pero el mal tratamiento de ellos podría causar contaminación ambiental y ser un peligro para la salud pública. (Montalban , 2018)

La recolección es la parte más sensible a los ojos de la población y necesita ser muy bien planificada, ya que representa alrededor del 50% de los costos operativos del saneamiento público, y no es menos importante que los camiones que realizan esta tarea emiten alrededor de 1,24 kg de CO/Km en los recorridos que realizan y estas emisiones de dióxido de carbono son eliminados en la atmósfera (Vecchi et al., 2016). Las técnicas de optimización son consideradas un gran desafío al ser aplicadas en el transporte, y al ser asociado al aumento del número de productos que se transportan anualmente en todo el mundo, eleva la relevancia del uso de las metodologías de investigación operativa en el transporte ya que son necesarias para administrar adecuadamente los sistemas de transporte complejos.(Archetti et al., 2022)

Las investigaciones recientes sobre la gestión de residuos se enfocan en mejorar la eficiencia de las operaciones de recolección al reducir las distancias de viaje, el

costo, el tiempo, el consumo de combustible y las emisiones generadas al medio ambiente. (Dotoli et. al, 2017).

Actualmente, es necesario optimizar el enrutamiento de los vehículos que se encargan de la recolección y transporte de los residuos sólidos, lo que ha dado lugar a varios estudios que aplican diferentes métodos de matemáticos para lograr una adecuada gestión de residuos sólidos.

Por esta razón, se ha recopilado información de diferentes fuentes bibliográficas para fortalecer la investigación a desarrollar, las cuales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1: Antecedentes

N°	AUTOR	PROBLEMA DE LA INVESTIGACION	OBJETIVO /METODOLOGIA	RESULTADOS Y CONCLUSIONES
1	Monzambe at et., (2021)	El manejo y la eliminación deficientes de los desechos son las principales causas de la contaminación ambiental que crean espacios para la reproducción de organismos y la propagación de enfermedades infecciosas. Es por eso que los países en desarrollo pueden afectar positivamente el estilo de vida de su gente y mejorar la limpieza de sus ciudades mediante la implementación de MSWMS eficaces y óptimos.	En el presente estudio se aplicó el modelo matemático entero mixto no lineal, cuyo objetivo fue desarrollar un modelo matemático para la optimización del sistema de transporte de RSU.	Los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian la existencia de un modelo que reduce los costos por unidad de recolección de RSU, la que se llevó a cabo en Grecia. Una de las novedades de este estudio es que dicho modelo puede ser aplicado en situaciones en las que no existe un determinado número, ni ubicación de las estaciones de transferencia.
2	Dotoli et al., (2017)	Los modelos matemáticos proporcionan un medio sistemático por el cual los tomadores de decisiones pueden explorar varias alternativas para identificar una estrategia de WM óptima, particularmente en el contexto más complejo de la colección HW	Con el objetivo de minimizar la distancia recorrida por los vehículos de enrutamiento, en el presente informe se propone la aplicación de la técnica de la programación con múltiples ventanas de tiempo, lo que permitirá restringirla su recorrido. Para su evaluación se aplica en un estudio de caso real.	Es necesario contar con dos rutas para abastecer todas las demandas y no incurrir en horarios adicionales. Si bien el estudio se aplica al transporte de un buque tanque, dicho resultado también puede aplicarse a camiones que tengan compartimientos, pudiendo decidir entre una ruta por su valor objetivo más bajo u otra que permita la visita a más clientes. Finalmente, se verifica que dicho modelo se caracteriza por haber identificado 59 variables y 1035 restricciones.
3	Amal et al., (2018)	En los países en desarrollo, entre el 80% y el 90% de los presupuestos municipales se reservan para los servicios de recolección, mientras que la frecuencia y la eficiencia de la recolección se mantienen más bajas. El problema es cómo planificar un horario para todos los vehículos que pueda minimizar el tiempo total de viaje y las distancias de los vehículos para ahorrar	Se propone un nuevo algoritmo genético basado en el Sistema de Información Geográfica Espacial (SIG) para optimizar las rutas de recolección de residuos sólidos. Este método emplea la versión alterada del algoritmo original de Dijkstra en SIG con el fin de crear soluciones eficaces al enrutamiento vehicular Para	La aplicación del algoritmo genético en el presente estudio ha verificado que se ejecuta 10 interacciones y 30 soluciones para diferentes poblaciones. Este estudio demuestra que el método aplicado es mejor que otros algoritmos, logrando 4,28 h menos de recorrido en comparación con las rutas prácticas y es 5 minutos menos que el de la ruta optimizada

N°	AUTOR	PROBLEMA DE LA INVESTIGACION	OBJETIVO /METODOLOGIA	RESULTADOS Y CONCLUSIONES
		energía y reducir las emisiones ambientales causadas por los vehículos.	Validar dicha metodología se realiza un estudio en la ciudad de Sfax en Túnez.	de por ArcGIS, y este es a su vez menor en 4.21h que las rutas prácticas, pero los tiempos totales con ambos métodos siguen siendo mayores en comparación al algoritmo genético.
4	Archetti, et al., (2022)	Los responsables políticos en el 2010 señalaron la importancia de crear una red de transporte capaz de fomentar el desarrollo de la multimodalidad para disminuir las emisiones y la congestión, mejorando la eficiencia y redistribuyendo el transporte de carga entre modalidades.	El objetivo es la de hacer una revisión sistemática y profunda en la bibliografía concerniente al modelo de optimización para el transporte multimodal, lo que nos permitirá explorar los distintos problemas y desafíos que definen cada una de sus combinaciones.	La metodología de optimización intermodal en base a una red vial real en los EEUU demuestra que una solución intermodal es más rápida, menos costosa y más firme en comparación con transportes unimodales que son los más usados por los transportistas. Además, se demuestra que una red vial, correctamente diseñada para la multimodalidad, favorece a la reducción de costo y buenas prestaciones.
5	Asefi et al., (2019)	Para diseñar y sustentar los sistemas de SWM eficaces, se han usado numerosas veces el desarrollo de modelos de optimización de base económica para la asignación de flujos de desechos y las rutas de camiones de recolección. La ubicación y los desechos de enrutamiento son problemas retadores en el desarrollo de un sistema ISWM efectivo, el problema de enrutamiento de ubicación (LRP) como un marco de problemas ampliamente abordado en OR, se puede usar de forma efectiva en el desarrollo de modelos de optimización para ISWM.	La investigación aborda el problema del enrutamiento aplicando la programación lineal de enteros mixtos (MILP) para minimizar el costo del sistema de residuos sólidos municipales que incluye el transporte y las instalaciones y para resolver la rigidez polinomial-tiempo no determinista del problema, se plantea una heurística paso a paso siguiendo dos enfoques metaheurísticos: (i) búsqueda de vecindad variable (VNS) y (ii) VNS híbrido y un algoritmo de coincidencia. recocido simulado (VNS SA). Finalmente, el modelo MILP presentado se implementa en el entorno CPLEX para evaluar la efectividad de los algoritmos propuestos. Se aplica un estudio caso aplicado a la ciudad de Teherán, Irán.	Los resultados demuestran que, los algoritmos postulados consiguen solucionar de forma efectiva el problema dentro del tiempo de computación práctica, el método híbrido planteado eficientemente alcanzo soluciones casi óptimas con brechas de < 4%, en comparación con los resultados exactos. En comparación con el precio vigente del sistema ISWM existente en el área de estudio, el modelo MILP sugerido y los métodos heurísticos recomendados aminora efectivamente los costos totales en un 20-22%.
6	Babae et al., (2019)	La falta de técnicas específicas para optimizar la gestión de los residuos peligrosos en el ámbito urbano y	El objetivo es minimizar el costo total, incluido el costo de recorrido, el costo de empleo del vehículo y la penalización de	Los resultados computacionales muestran que el algoritmo propuesto tiene un gran rendimiento en un corto tiempo

N°	AUTOR	PROBLEMA DE LA INVESTIGACION	OBJETIVO /METODOLOGIA	RESULTADOS Y CONCLUSIONES
7	Bányai et al., (2019)	<p>proporciona un enfoque para abordar los problemas de enrutamiento y la programación de vehículos para la recolección y eliminación de desechos peligrosos, de los lugares especiales donde se generan lo que conduce a desafíos difíciles durante los procesos de eliminación y recuperación.</p> <p>En la unión europea la producción per cápita de residuos alcanza los 500kg, lo que significa que el sistema de gestión de residuos debe recoger y procesar una gran cantidad. La recolección y tratamiento de esta cantidad de residuos tiene un impacto significativo en la salud pública, ya que estos procesos están causando contaminación ambiental, como la emisión de gases como el CO<sub>2</sub> y material particulado.</p>	<p>salida de las ventanas de tiempo permitidas y se aplica un modelo matemático robusto para resolver el problema de enrutamiento de arco capacitado (CARP) particular de la recolección de residuos urbanos en condiciones inciertas. Resolvieron el problema mediante el desarrollo de un recocido simulado híbrido y pudieron demostrar la efectividad de su algoritmo propuesto en comparación con el solucionador CPLEX.</p> <p>El modelo matemático para la recolección de residuos incluye problemas de enrutamiento, asignación y programación, para minimizar el costo total de operación, aumentar la confiabilidad teniendo en cuenta indicadores ambientales integrales que impactan en la salud pública. Se describe un algoritmo bat binario, el análisis de escenarios valida el modelo.</p>	<p>computacional en comparación con el solucionador CPLEX. Finalmente, para demostrar la aplicabilidad del modelo, se analiza un estudio de caso en Irán y se presentan buenas políticas óptimas.</p> <p>Los resultados de este estudio de simulación muestran que el análisis y la optimización de diferentes escenarios del sistema de gestión de residuos aumentan su rentabilidad, fiabilidad y rendimiento. Se logra un modelado matemático y la optimización de los procesos de recolección basado en la optimización en algoritmos bat binarios.</p>
8	Rizvanoğlu et al., (2019)	<p>El sistema de gestión de residuos sólidos es uno de los asuntos más importantes del presupuesto en las municipalidades, entre el 65 y 80% del presupuesto se gasta en recolección y transporte de residuos sólidos, es por eso que el ahorro en estos servicios resulta en ingresos económicos y lo más importante reduce enormemente las emisiones.</p>	<p>Se examinó el enrutamiento y la programación de la recolección de residuos sólidos para el barrio veysel Karani del distrito de Haliliye en la provincia de Şanlıurfa. Luego se estableció un modelo de programación lineal para la optimización.</p>	<p>La programación lineal utilizado en este estudio dan una solución óptima para problemas de cierto tamaño, si la medida de las dimensiones del problema crece, el modelo de programación lineal puede volverse inadecuado</p>
9	Ugwu et al., (2021)	<p>El procesamiento y la recuperación implica diferentes metodologías de tratamiento y recuperación que favorecen en las actividades de utilización, reducción y</p>	<p>El propósito es discutir técnicas de reducción y recuperación de desechos, evaluar y comparar su adopción entre instituciones de educación superior en</p>	<p>Los componentes orgánicos y combustibles pueden generar aproximadamente un tercio de las necesidades de electricidad de la universidad generadora. Se requerirá</p>

N°	AUTOR	PROBLEMA DE LA INVESTIGACION	OBJETIVO /METODOLOGIA	RESULTADOS Y CONCLUSIONES
		<p>reciclaje. Las instituciones superiores tienen la capacidad suficiente para promover la conciencia ambiental, mediante la transferencia de conocimientos, creación de tecnología y herramientas necesarias que fomenten y promuevan practicas sostenibles en la comunidad.</p>	<p>diferentes partes del mundo, con el fin de proponer mejores estrategias para el manejo de desechos sólidos a las universidades nigerianas.</p>	<p>mucha inversión para realizar todo el potencial de los residuos generados en el campus. Cualquier estrategia de gestión de residuos a adoptar tiene que depender estrictamente de la fuente de residuos, sus características y composición.</p>
10	Eren et al., (2021)	<p>Con el aumento de casos Covid-19 también aumentaron los materiales usados por los pacientes y médicos, por lo que la producción de residuos médicos ha creado un importante problema ambiental y de salud a nivel mundial. El problema de la recolección de residuos peligrosos en una red de transporte está enfocado en la minimización del riesgo de la exposición y los costos de transporte.</p>	<p>El valor de la distancia puede ser sustituido por otro factor como el costo, el tiempo, etc. para diferentes tipos de problemas, y es obligatorio visitar todos los puntos, pero solo una vez. TSP fue formulado por Karl Menger en 1930 Actualmente, los investigadores de todo el mundo todavía utilizan este problema para demostrar la superioridad de su método de optimización sobre otros</p>	<p>El modelo propuesto ofrece la oportunidad de usar la prioridad de distancia y de puntaje de seguridad. Así, la seguridad es la prioridad para el transporte de residuos sanitarios para distancias más cortas, es prioritario. Los resultados muestran que los valores que obtenidos son óptimos que otras soluciones.</p>
11	Marampoutis et al., (2022)	<p>La recolección es una etapa crucial del ciclo de vida en los residuos sólidos y alertan sobre los impactos negativos que podrían ocurrir al cambiar las botellas de vidrios por los envases reutilizables, debido a actividades adicionales que consumen recursos, es por eso la importancia de gestionar el transporte para la logística que incluye la producción, distribución, recolección y limpieza.</p>	<p>La investigación se centra en la fase a nivel operativo. abarca la recolección de un grupo de clientes programando rutas con un solo vehículo. La duración de la recopilación/enrutamiento es a menudo el objetivo para minimizar, pero se podrían utilizar otros criterios. Se tendrá prioridad al costo, impacto ambiental del transporte, el tiempo de operación y la satisfacción del cliente, medido positivamente si un cliente es visitado poco después de que lo necesita.</p>	<p>Los resultados demuestran los impactos de las reglas de prioridad sobre la solución obtenida y se sugieren más indicadores para analizar con precisión la calidad de la solución en términos de costo e impacto ambiental. El modelo y el programa propuestos contribuirán a tomar decisiones acordes a la planificación y programación de las rutas de los vehículos para la recolección de botellas de vidrio recargables, especialmente en áreas urbanas.</p>
12	Monzambe et al., (2019)	<p>Se han realizado numerosos estudios sobre la optimización de la recogida y el transporte de RSU utilizando Softwares, los que han demostrado disminución en las distancias recorridas y el tiempo empleado. De igual forma con la aplicación del SIG y</p>	<p>El análisis de regresión lineal y las técnicas de correlación son las técnicas empleadas para determinar las relaciones; y Microsoft Excel 2016 es el software usado para el análisis de datos considerando un estudio de caso de las</p>	<p>La implementación del concepto de recuperación y reciclaje equivale a la realización de procesos inversos que permitan la reintroducción de materiales de desecho en el sistema económico. Estos procesos son la base de la logística inversa.</p>

N°	AUTOR	PROBLEMA DE LA INVESTIGACION	OBJETIVO /METODOLOGIA	RESULTADOS Y CONCLUSIONES
		la programación matemática se optimizo la ubicación de las estaciones de transferencia de residuos sólidos en la ciudad de Taipei.	provincias de Sudáfrica. Esta investigación tiene como finalidad diseñar sistemas que usen datos en tiempo real que favorezcan a la toma de decisiones descentralizadas para la recolección, el tratamiento y la eliminación óptimos de los desechos.	Los resultados mostraron que los factores determinantes que inciden en estos parámetros son la contribución al Producto Interno Bruto de la ciudad y su densidad de población.
13	Mostafayi et al., (2020)	Para abordar el problema de la recolección y la ubicación de los desechos ha sido motivo de estudio desde una perspectiva estratégica, así como de una perspectiva táctica. La investigación operativa tiene muchas aplicaciones en la gestión de residuos sólidos. Una de ellas es el diseño de redes de recolecciones forma de una estructura logística de múltiples niveles que incluye la ubicación de los centros de recolección y la asignación de áreas de demanda, utilizando modelos matemáticos, algoritmos de optimización y método de toma de decisiones	La optimización multiobjetivo en la gestión de residuos, dividieron áreas urbanas usando un modelo de programación de enteros mixtos (MIP), el objetivo es minimizar las desviaciones de los tamaños de los distritos del valor medio; un problema de enrutamiento de vehículos para optimizar la recolección de residuos sólidos con una nueva tecnología se aplica en una ciudad italiana. Su enfoque condujo a la reducción de los costos totales y los efectos ambientales adversos.	Las tres funciones objetivas empeoran al disminuir el parámetro LMÁXIMO porque las restricciones se vuelven estrictas. En el estudio se logra una alta sensibilidad de las soluciones a diferentes WMÁXIMO valores. Cuando WMÁXIMO disminuye y aumenta, se mejora el equilibrio de la carga de trabajo. La sensibilidad a los cambios de varía para diferentes valores de WMÁXIMO. Según el análisis, la heurística propuesta tiene un comportamiento lógico en la generación de soluciones finales y puede ser utilizada como una nueva herramienta de desarrollo para problemas de gestión de RSU.
14	lo Storto, (2021)	La recolección selectiva de residuos urbanos se considera un paso importante en la gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) y una actividad crítica para lograr la circularidad. Para optimizar los costos y el rendimiento de los RSU, los municipios combinan diferentes esquemas y estrategias de recolección, incluidos los sistemas de recolección, entrega y recepción puerta a puerta, instalaciones de recolección dedicadas y combinadas, campañas de comunicación y educación e incentivos. Por lo tanto, los modelos de	El objetivo de este documento es llenar la brecha de conocimiento relativa al nexo eficacia-eficiencia en la evaluación del desempeño de la gestión de RSU. El estudio se organizó en dos fases. En la primera fase, las medidas para los tres indicadores de eficiencia se calcularon aplicando el Análisis envolvente el Tobit con parámetros aleatorios para examinar el nexo unidireccional efectividad-eficiencia, considerando las heterogeneidades de ambos municipios y las variables específicas del contexto.	Los resultados indican que la entropía es importante en la determinación del rendimiento de la recolección separada de fracciones de residuos. Los valores de media y desviación estándar de este parámetro aleatorio son iguales a 0.19306 y 0.09379. Esto implica que un aumento de la <i>Entropía</i> . La medida está asociada a una subida de la tasa de la fracción clasificada de los residuos para casi todos los municipios (98%). Así, la eficacia del servicio de RSU puede mejorar si el esfuerzo y los recursos del municipio se destinan por igual a gestionar todas las

N°	AUTOR	PROBLEMA DE LA INVESTIGACION	OBJETIVO /METODOLOGIA	RESULTADOS Y CONCLUSIONES
15	Sarmah et al., (2019)	<p>recolección y el desempeño difieren ampliamente</p> <p>La ruta de los vehículos para la recolección de desechos es una decisión muy importante porque minimiza el costo de recolección, la congestión del tráfico y mejora la eficiencia de recolección del sistema de gestión de RSU.</p>	<p>Con este artículo se propone la mejor solución para el transporte de RSU para el dominio definido. Se formula un modelo de minimización de costos sobre la base de la matriz de ahorro de costos. El algoritmo de Clark y Wright se aplica para encontrar la ruta óptima del vehículo. Las herramientas de análisis de red disponible en ArcGIS se utilizaron para encontrar la ruta optimizada para la recolección de residuos sólidos teniendo en cuenta todos los parámetros requeridos. El estudio también demuestra las importantes reducciones de costos y carbono que se pueden obtener debido a la ruta adecuada del vehículo.</p>	<p>fracciones de residuos clasificadas, en lugar de privilegiar una o algunas de ellas. Los resultados indican hasta un 22% de minimización de longitud en las rutas. La solución eficiente para el problema de optimización de intervalo que discutió sobre la función de valor de intervalo y sus propiedades. propusieron un modelo de asignación de instalaciones de criterios múltiples de consumo de combustible para las instalaciones de MSWM de la región de Macedonia Central en el norte de Grecia.</p>
16	Sulemana et al., (2018)	<p>La ineficiente recolección y el transporte de los residuos sólidos repercutirá considerablemente a las empresas que los gestionan debido a que al aumentar los costos operativos reducen las ganancias. Recortar los costos de recolección y transporte de desechos es importante para la gestión sostenible de desechos sólidos en los países en desarrollo.</p>	<p>Este trabajo revisa estudios en el área de aplicación de sistemas de optimización en el proceso de recolección de residuos sólidos con particular interés en sistemas que se basan en programación matemática y sistemas de información geográfica (SIG) La metodología empleada fue la búsqueda bibliográfica en la que se utilizaron palabras clave como sistemas de recolección de residuos sólidos, problema de enrutamiento de vehículos, aplicación de SIG, diseños de sistemas óptimos y análisis de redes. Se revisó el texto completo de cada artículo y como resultado se seleccionaron 60 artículos relevantes para el estudio.</p>	<p>La ruta óptima de los camiones recolectores de residuos sólidos indica el uso de dos enfoques principales: programación matemática y SIG. Se aplican principalmente para garantizar la conservación de los recursos mediante la reducción de la distancia, el tiempo y los costos operativos y de mantenimiento. Las soluciones parciales o casi óptimas se derivan cuando los sistemas de enrutamiento desarrollados a partir de programas matemáticos se implementan en la realidad.</p>
17	Höke et al., (2021)	<p>Varios estudios adoptan la optimización de rutas a través de modelos matemáticos</p>	<p>Esta investigación tiene como objetivo desarrollar un enfoque de modelado</p>	<p>Los resultados demostraron que la adición de ST no es económicamente factible en el</p>

N°	AUTOR	PROBLEMA DE LA INVESTIGACION	OBJETIVO /METODOLOGIA	RESULTADOS Y CONCLUSIONES
		<p>para fines como la reducción de emisiones, enrutamiento óptimo y reasignación de contenedores de basura y propusieron un modelo de enrutamiento de vehículos con múltiples nodos y vehículos no homogéneos para la optimización de la recolección de RSU. En uno de estos estudios se construyó un modelo de problema de enrutamiento de vehículos capacitados (VRP) que incorpora un algoritmo de optimización de enjambre de partículas para resolver el problema de optimización de enrutamiento.</p>	<p>espacial para investigar la ubicación óptima y los impactos económicos de los MSW TS. En la revisión bibliográfica sobre la ubicación de TS consta de dos partes separadas: un análisis espacial basado en SIG; y una optimización matemática externa. Se utilizó GIS para determinar la idoneidad del terreno y la determinación de distancias entre todos los nodos, como garajes, fuentes de desechos y TS. Se llevó a cabo la optimización a través de modelos matemáticos para identificar las rutas óptimas que minimizan el tiempo total de servicio y, por lo tanto, los sitios y el número de TS óptimos.</p>	<p>área de estudio debido a la flota de vehículos pequeños de (ocho vehículos de recolección), la proximidad del vertedero a áreas con alta densidad de desechos y la recolección a nivel de distrito. Por otro lado, la adición de TS resultó en un menor consumo de combustible que puede ayudar a reducir la contaminación del aire inducida por el combustible.</p>
18	Grakova et al., (2018)	<p>El problema de la recolección de residuos es complicado de calcular. En las grandes ciudades, la optimización de la recogida de residuos es una tarea muy importante. Para resolver el problema, se usa el algoritmo metaheurístico para el VRP Capacitado. La calidad de los resultados de los algoritmos metaheurísticos depende de la configuración de los parámetros de entrada. Existen varios enfoques que abordan la optimización de las rutas de recolección de residuos. Estos son el problema del viajante de comercio (TSP), el problema de enrutamiento de vehículos (VRP) y el problema de enrutamiento de arco (ARP).</p>	<p>El objetivo de este artículo es adaptar y conectar el algoritmo ACO en la infraestructura HPC para resolver el problema de la recolección de residuos. Se uso un problema de enrutamiento de vehículos (VRP) para resolver el problema de la recolección de residuos. Uno de los enfoques sobre cómo resolver este problema es utilizar algoritmos de optimización. El algoritmo metaheurístico de optimización de colonias de hormigas (ACO) se utilizó para resolver el problema en este artículo. Este algoritmo fue adaptado para un conjunto de datos reales.</p>	<p>Los resultados mostraron que la paralelización del algoritmo es beneficiosa y reúne con la potencia de supercomputación la posibilidad de resolver problemas más grandes de este tipo. Se requiere ejecutar el algoritmo con diferentes configuraciones para obtener los mejores resultados. Se han utilizado varios parámetros de configuración para lograr los resultados óptimos.</p>

N°	AUTOR	PROBLEMA DE LA INVESTIGACION	OBJETIVO /METODOLOGIA	RESULTADOS Y CONCLUSIONES
19	Silva, (2016)	La recolección de RSU también incluye el transporte de materiales recolectados a un lugar donde se descargan los vehículos, como una instalación de clasificación, una estación de transferencia o un vertedero. Se afirma que los principales problemas a nivel de planificación de la recolección son: los tipos de residuos a recoger, la organización de la recogida y el tipo de vehículo utilizado.	El trabajo tiene como objetivo evaluar el impacto en la distancia recorrida para visitar los puntos de recogida bajo la responsabilidad, al utilizar vehículos de múltiples compartimentos, en lugar de utilizar los de un solo compartimiento. Se desarrolló un modelo híbrido que primero selecciona qué puntos de recogida de la red existente merece la pena visitar con vehículos multicompartimento, y luego implementa una heurística para agrupar y enrutar esos puntos de recogida.	El modelo propuesto se aplicó a una región específica del sistema Valorsul, y los resultados sugieren que el uso de vehículos con múltiples compartimentos es más provechoso (en términos de distancia recorrida) que el uso de vehículos con uno solo compartimento.
20	Zhang, et al., (2020)	La recolección de RSU en las economías en desarrollo no ha sido suficientemente estudiada. Esta investigación se centra en una nueva variación del CVRP clásico en las economías en desarrollo. El problema CVRP es una aplicación famosa del problema clásico de enrutamiento de vehículos (VRP) en el campo de los RSU. Se pueden encontrar varios tipos de variantes de VRP y métodos de solución en el CVRP de diferentes ciudades	El objetivo principal de este estudio es la de minimizar el número de vehículos de recogida y el objetivo secundario es minimizar el tiempo total de viaje. El Par-SAA es un procedimiento de construcción paralelo para el enfoque de mejora de rutas SAA en el que una solución inicial es el punto de partida para buscar soluciones mejoradas.	Al aplicarse el modelo y el algoritmo a un problema CVRPGF real en el distrito Xuanwu de Beijing, el NV necesario se reduce en un 30% y el tiempo total de viaje se reduce en un 12%. Por lo tanto, se demuestra la efectividad del Par-SAA, y la solución propuesta tiene un valor práctico en China.
21	Hrabec et al., (2019)	El modelo que se presenta a continuación está formulado como un problema de enrutamiento de vehículos aplicado en la recolección de desechos, donde el tomador de decisiones conoce el nivel actual de llenado de los contenedores. Se considera que cada contenedor está equipado con un sensor que mide su nivel de residuos, y esta información se envía al planificador en ciertos intervalos. El desarrollo y la implementación de modelos dinámicos de programación y enrutamiento en la recolección de residuos utilizando los datos	El objetivo del estudio es optimizar la planificación dinámica en los horarios diarios de los camiones de basura con respecto a la minimización de los costos de transporte que también refleje un impacto ambiental positivo presentado por el ahorro en la distancia de transporte / enrutamiento. El modelo formulado como un problema de enrutamiento de vehículos aplicado en la recolección de desechos, donde el tomador de decisiones conoce el nivel actual de llenado de los contenedores.	El modelo se implementó en el programa de optimización AMPL usando solver CPLEX y se resolvió para una brecha de optimización. La investigación presentó un nuevo enfoque de simulación que tiene el potencial de aportar un nuevo punto de vista a los modernos sistemas inteligentes de recolección de residuos que utilizan tecnologías de gestión inteligente para este estudio el uso de contenedores equipados con sensores y tecnología inalámbrica.

N°	AUTOR	PROBLEMA DE LA INVESTIGACION	OBJETIVO /METODOLOGIA	RESULTADOS Y CONCLUSIONES
22	Anwar et al., (2018)	<p>en tiempo real obtenidos de los sensores ya se han estudiado en investigaciones recientes, lo que ofrece una solución a futuro.</p> <p>Pocas instalaciones exitosas de tratamiento y eliminación de desechos a gran escala están siendo operadas en ciudades urbanas de Egipto. Estas instalaciones reciben RSU mixtos que pasan por los procesos de clasificación, seguidos del compostaje de residuos orgánicos, la producción de RDF a partir de residuos plásticos y el vertido de los rechazos.</p>	<p>Considerando que cada contenedor está equipado con un sensor que mide su nivel de residuos, y esta información se envía al planificador en ciertos intervalos.</p> <p>El objetivo de este estudio es proporcionar un modelo de costo óptimo para la gestión de RSU para las aldeas rurales egipcias, que incorpora el concepto de configuración del sistema y sistema de tratamiento de residuos. El modelo propuesto se optimizará maximizando el beneficio del sistema de gestión de RSU utilizando programación de enteros mixtos. La mejor ubicación para la instalación de tratamiento se selecciona de las ubicaciones candidatas dadas que maximizan el beneficio neto.</p>	<p>Se demostró el cálculo de costos respectivo para cada escenario (bajo las tres configuraciones (centralizada, agrupada y descentralizada). En términos de tipo de tratamiento, mostró un rendimiento moderado en términos de costo de capital en las tres configuraciones, Sin embargo, para el costo de transporte, todos los tratamientos tuvieron un rendimiento similar en configuraciones centralizadas y agrupadas. Se observó una diferencia significativa entre estas dos configuraciones frente a la configuración descentralizada. Esto se debe principalmente a la dispersión de las instalaciones de tratamiento descentralizadas donde los residuos pueden recogerse y transferirse a la instalación disponible más cercana, donde el punto de generación de residuos está más cerca del punto de eliminación de residuos.</p>
23	Cadena, (2018)	<p>Los problemas de transporte logístico pueden ser planteados como un modelado de optimización combinatoria que se pueden resolver mediante métodos exactos o heurísticos. Esto sugiere que tienen una representación unilateral del problema logístico y pueden verse como sugerencias analíticas para el gerente de gestión de logística de transporte de la organización.</p>	<p>Explorar un modelo cuantitativo desarrollado para resolver el problema de enrutamiento de vehículos (VRP) en el contexto de la gestión logística de distribución. Se toma en consideración una revisión de literatura para la aplicación de la estructura y algoritmos de optimización VRP, generando así discusión, análisis y razonamiento crítico previo al estudio.</p>	<p>Una de las contribuciones más importantes del estudio de operaciones a la gestión y operaciones de la logística del transporte es el uso de técnicas analíticas avanzadas similares a situaciones reales para tomar decisiones dentro de una organización.</p>

N°	AUTOR	PROBLEMA DE LA INVESTIGACION	OBJETIVO /METODOLOGIA	RESULTADOS Y CONCLUSIONES
24	Correa, (2018)	El Municipio de Chiclayo el servicio de recolección de residuos sólidos ha crecido de manera desproporcionada sin una gestión adecuada y rigurosa, y ahora más de 170 empleados brindan servicios de recolección en la comunidad.	El objetivo general es proponer mejoras al sistema de recolección de residuos sólidos municipales del distrito de Chiclayo para mitigar su impacto ambiental y brindar soluciones a los problemas que enfrenta este servicio. Se propuso un nuevo diseño de rutas de recolección utilizando metodología de sistemas de información para una mejor cobertura del área (GIS).	Se rediseñó cada ruta analizada en tres escenarios diferentes. Las modificaciones a los planes de recolección, métodos de recolección y/o equipos utilizados podrían ahorrar hasta un 50% del tiempo original y ahorrar personal. Un análisis de costo-beneficio mostró 1.09 >1. En aras de la interpretación, podemos decir que, por cada sol invertido, obtenemos 0,09 soles. Así mismo, los beneficios medioambientales, los ahorros en tiempo y viajes están asociados con ahorros en emisiones de CO2 y consumo de combustible.
25	Henao et al., (2020)	La distribución del producto desde el almacenamiento (lugar de origen) a diversos clientes que necesitan un servicio, juegan un papel importante. Una correcta planificación de estos transportes supone un importante ahorro logístico, especialmente en costes como consumo de combustible, tiempo de mano de obra. Esto permite a las empresas lograr una mejor rentabilidad ahora.	El objetivo principal de la investigación fue formular y resolver el problema de enrutamiento del transporte para la repartición de alimentos perecederos en la Zona Este-Sur de la Ciudad de Medellín.	Cada vehículo tiene una capacidad de movilización semanal de 960 unidades en GRD. Lo anterior se relaciona con 160 GRD por visita 6 días a la semana. Para nuestro caso de estudio, esa capacidad es del 20%. En otras palabras, el vehículo utiliza el 80% (768 GRD) de su capacidad. Capacidad semanal para crear brechas para acomodar las fluctuaciones de la demanda relacionadas con eventos no considerados por los clientes.
26	Hermitaño, (2019)	La recolección y posterior transporte de residuos sólidos es un problema si es que no existe un buen manejo, ya que en función de la ruta asignada para la recolección, se requieren rutas óptimas para minimizar las mediciones de distancia de recolección (costo y tiempo). Para ello, nos planteamos una pregunta de investigación: ¿Es posible optimizar la trayectoria de recolección de residuos utilizando contenedores de la ciudad de	El objetivo es implementar un programa informático para evaluar las distancias de recolección de residuos generados a partir de planes de ruta y diseñar rutas de recolección de residuos con la ayuda de: Contenedor de la ciudad de Huaraz usando lenguaje de programación Máuser IV 2019.	Para solucionar el problema de recolección de residuos sólidos mediante contenedores se adaptó un modelo matemático de acuerdo al VRP y además se requiere la siguiente información de ubicación de rellenos sanitarios y contenedores y sus ubicaciones utilizando el programa informático AUTOCAD 2017. hizo.

N°	AUTOR	PROBLEMA DE LA INVESTIGACION	OBJETIVO /METODOLOGIA	RESULTADOS Y CONCLUSIONES
27	Hoyos, (2020)	<p>Huaraz empleando el Algoritmo de Colonia de Hormigas?</p> <p>Se vincula al empleo de métodos de enrutamiento para la distribución de los productos de las granjas avícolas en Colombia para lograr mejoras comerciales centradas en la reducción de costos de distribución de productos.</p>	<p>El objetivo es diseñar un modelo de enrutamiento que minimice la distancia de viaje del vehículo en la distribución de productos en la granja avícola del Valle del Cauca.</p>	<p>Se usan técnicas exactas como algoritmos que proporcionan soluciones óptimas, pero no puede implementarse para resolver problemas complejos o con gran número de variables.</p>
28	Imbaquingo, (2018)	<p>Es trascendental distinguir el progresivo crecimiento poblacional de la ciudad de Ibarra y la consecuente expansión del área urbanizada. Por ello, se debe tener en cuenta que no todos los sectores urbanos cuentan con servicios adecuados de residuos sólidos urbanos (RSU). Esto lleva a que las sociedades conviertan las aceras y las calles en pequeños vertederos de su propia creación.</p>	<p>Utilizando un lenguaje de programación y herramientas GIS de un sistema de información geográfica, diseñamos un modelo matemático que nos permite determinar la ubicación óptima de los contenedores de RSU y determinar el número óptimo de contenedores a distribuir en las áreas urbanas de una ciudad.</p>	<p>Debido a que la cantidad de residuos generados en cada región ya está controlada, está disponible solo para los recolectores que lo necesitan, y debido a que se llevan estadísticas sobre la cantidad de residuos que pueden terminar en los rellenos sanitarios, la calidad de la recolección de residuos está mejorando.</p>
29	Konstantakopoulos et al., (2022)	<p>El problema de enrutamiento de vehículos (VRP) es uno de los mayores retos para las empresas de logística actualmente. Los investigadores han analizado el enrutamiento de vehículos y la programación de entregas desde 1959, Dantzig y Ramser (1959) han incorporado el problema del despacho de camiones. Este es considerado un caso paradigmático del Problema de Ruteo de Vehículos (VRP), referido a la entrega de mercancías desde un almacén central a clientes geográficamente dispersos.</p>	<p>Minimizar los costos totales de distribución .</p>	<p>El artículo expone los logros cuantitativos y cualitativos de la revisión de la literatura y discute las publicaciones científicas con un impacto significativo en la comunidad investigadora. Este artículo presenta una metodología para clasificar las múltiples variantes de VRP relacionadas con el transporte de carga, que la mayoría de las empresas de logística y distribución enfrentan en sus operaciones diarias, así como los algoritmos que resuelven los diversos problemas</p>
30	Koushik et al., (2019)	<p>En india, la proporción de la población urbana ha aumentado del 10,84% en 1901 a 25,15% en 1991 y al 31,2% en 2011. La aceleración de la población urbana, junto con el aumento de la generación de RSU,</p>	<p>El informe de la comisión de planificación incluye así las plantas de incineración, pirólisis, gasificación de residuos a energía como opciones tecnológicas para</p>	<p>El costo total de SWM es Rs. 2.288.205/d y el costo total de operación y mantenimiento (incluido el costo del terreno, el costo de construcción) de las plantas de tratamiento de desechos (a saber, clasificador, planta</p>

N°	AUTOR	PROBLEMA DE LA INVESTIGACION	OBJETIVO /METODOLOGIA	RESULTADOS Y CONCLUSIONES
		ha hecho que muchas ciudades indias sean deficientes en servicios básicos.	gestionar los RSU para ciudades con mayor población de 1 millón.	de compostaje, incinerador) es de Rs. 1.168.935,4/d para el Caso 1. Si bien el costo del tratamiento de residuos aún es alto, se debe apreciar que las plantas de tratamiento son responsables del 66% de la reducción de residuos. Una cantidad tan grande de reducción de residuos aumenta la vida útil de los vertederos y ahorra tierras.
31	León, et al., (2019)	En el distrito de San Jerónimo, se brinda servicios de limpieza diaria, recolección y disposición final de residuos. No obstante, se puede ver la acumulación de basura en el distrito. Esto se debe a las malas costumbres de las personas que pasan sin esperar los camiones recolectores y tiran basura en plazas públicas, carreteras y riberas de ríos.	Mejorar del sistema de recolección de residuos en la zona de San Jerónimo - Cusco 2018 mediante la implementación de técnicas programación lineal.	Las propuestas de mejora de rutas diseñadas con métodos de programación lineal ayudaron a mejorar los sistemas de recolección de residuos sólidos en los distritos de San Jerónimo y Cusco en 2018. Por lo tanto, la propuesta podría haber ahorrado 268.288 km del total acumulado mensual de todas las rutas actualmente establecidas.
32	Montalban et al., (2018)	El plan de rutas para la recolección de residuos sólidos es un asunto muy complicado ya que su objetivo principal es seleccionar la ruta óptima a través de las calles recorridas..	Desarrollar de un planificador de rutas de recolección de residuos sólidos para el Distrito de Chiclayo utilizando un algoritmo genético.	El tiempo de aplicación del algoritmo genético para hallar la manera óptima puede reducirse, disminuyendo el numero de la población, pero para rutas complicadas, la fiabilidad del algoritmo genético puede reducirse a medida que disminuye el tamaño de la población.
33	Petridis, et al., (2018)	Reino Unido necesita 170 plantas de incineración para lograr el promedio de los objetivos de la UE27 de reducción del porcentaje de vertederos. Actualmente, el reino unido tiene solo 32 incineradores operativos. Muchos de ellos no son tan eficientes como deberían ser (Nixon et al, 2003).	El objetivo de este estudio es evaluar el desempeño de las plantas de incineración en una región considerando tanto las entradas como las salidas deseables e indeseables, estableciendo algunas metas deseadas, seleccionar y cerrar plantas de incineración en mora de manera objetiva e integrada.	Las plantas de incineración consumen residuos y producen calor y energía, contribuyen a reducir la emisión de gases de efecto invernadero, Sin embargo, el impacto ambiental negativo de la incineración también es sustancial a través de la emisión de gases y la producción de cenizas de fondo.
34	Toro et al., (2020)	Un tema tan extenso y relevante como el enrutamiento de vehículos requiere un sistema de información integrado para documentar el progreso del tema, desde la	Minimiza los costes fijos de apertura de un almacén y los costes variables de rutas. Equilibrar la carga de trabajo medida por el tiempo de cada ruta.	Los resultados exponen un buen rendimiento del modelo matemático relacionado con GAP conseguido para cada parte estudiada que va de 20 a 50 clientes.

N°	AUTOR	PROBLEMA DE LA INVESTIGACION	OBJETIVO /METODOLOGIA	RESULTADOS Y CONCLUSIONES
35	Villamarín et al., (2020)	El incremento exponencial del consumismo ha generado que la recolección de residuos y su destino final en la provincia de Pastaza aumente, en base a ello el GAD municipal pretende tomar medidas necesarias que permitan el abastecimiento de recolección de los desechos sólidos en toda la ciudad	Desarrollar un modelo de optimización logística de las rutas de recolección de los desechos sólidos en la zona urbana del gobierno independiente descentralizado del cantón Pastaza a fin de reducir a fin de reducir el costo operativo.	En estos casos, el valor GAP es 0 para 20 clientes y 5% para 50 clientes. En este sentido el tiempo de cálculo se considera aceptable. Se seleccionó la mejor ruta, siendo el método colonia de hormigas el método con un mejor resultado de optimización, método que mejoró el sistema logístico actual, reduciendo las distancias en un 9,8%, evitando 32,8557 km por semana, usando las tres rutas propuestas en el presente estudio.
36	Saucedo et al., (2019)	La gestión de los residuos sólidos municipales es responsabilidad del estado de México, además de la limpieza de los espacios verdes y públicos. Esta tarea es sumamente relevante para la localidad. No obstante, los recursos limitados de este servicio hacen que sea una tarea difícil.	Desarrollo de dos modelos matemáticos de macrorroteo basados en el diseño del área de acopio de residuos sólidos del Gran Monterrey.	Tanto para el modelo 1 como para el modelo 2, se efectuaron pruebas de programación en GAMS. GAMS es el software usado como fundamento para solucionar estos modelos caracterizados en datos obtenidos de la realidad.

En esta investigación, se analizará de forma particular tres técnicas de programación y enrutamiento de vehículos para la programación de la recolección y eliminación de residuos lo que permitirá una gestión óptima de residuos sólidos en el contexto municipal.

Es así que en el proceso de revisión bibliográfica se reconocen y establecen diversos conceptos y afirmaciones que son importantes para el desarrollo de esta investigación en la gestión de residuos sólidos municipales.

En el estudio realizado por Sulemana et al. (2018) sobre la gestión de residuos sólidos, manifiesta que para tratar el tema de la recogida de residuos sólidos se tiene que considerar el enrutamiento de vehículos, que abarca la programación y definición de rutas para los vehículos de manera transversal. La falta de una metodología científica y tecnológica para seleccionar las rutas a recorrer da como resultado sistemas de recolección insuficientes y costosos, es por eso que el enrutamiento para la recolección de residuos sólidos es un componente principal en la gestión de residuos sólidos, ya que involucra temas comerciales, sociales y ambientales debido a que representa un potencial riesgo de contaminación en las carreteras y salud pública. En este sentido, Sulemana et al. (2018), considera la importancia de las limitaciones de ruta analizando las aplicaciones de diseños de sistemas inmejorables mediante la programación matemática, entre otros para mejorar la eficiencia de la recolección de residuos.

El problema de enrutamiento de vehículos (VRP) para Toro et al.,(2020) involucra la conducción efectiva de la red de suministro que considera los procesos de prestación de productos básicos de las fuentes de segregación hacia los lugares en donde se procesan, así como la provisión de bienes y servicios hacia los centros de suministros y finalmente hacia los destinatarios finales. En ese sentido, Henao et al., (2020) considera que el problema del enrutamiento se trata del diseño de vías óptimas a fin de entregar el producto desde el centro de distribución a una cantidad de clientela extendidos geográficamente, empleando una escuadra de vehículos de cierta capacidad, dicho concepto es compartido por Hoyos, (2011) quien además agrega que al aplicar dicho modelo permite la distribución de productos a un mínimo costo. Un concepto mucho más conciso y general es el dado por Konstantakopoulos et al., (2022) quienes se refieren al problema de

enrutamiento vehicular (VRP) como la asignación de mercancías, desde un establecimiento céntrico hasta destinatarios geográficamente desperdigados.

Para Cadena (2018) la solución del enrutamiento de vehículos se encuentra cuando se satisfacen todas las limitaciones y se resuelve el colectivo de vías de rutas que minimizan o maximizan la función objetivo definida como la disminución del costo de transporte, distancia y capacidad de los vehículos.

La cadena de transporte, la escuadra de vehículos, los clientes y/o proveedores, el almacén central (o depósitos), los servicios a quienes deben considerar y la ruta de solución son considerados como elementos básicos del VRP en la investigación realizada por Hermitaño (2019).

El enrutamiento es materia fundamental en la gestión de residuos, no obstante, en la práctica es poco tratado; elegir el tipo de vehículo y el tipo de contenedor de residuos es igualmente relevante, debido a que el rendimiento de los sistemas de recogida de residuos, los costos y emisiones que se relacionan son influenciados por la elección del uso de camiones, remolques o camiones compactadores. Aun así, en múltiples casos, la ruta se lleva a cabo con un conjunto de camiones existente, pero la gestión de flotas y la inversión en diferentes tipos de vehículos también son un componente importante de la optimización de la recolección de residuo. (Bányai et al.,2019).

En ese sentido, Correa (2018), considera que para solucionar un problema de optimización, primordialmente se debe iniciar con la modelización del problema usando un problema matemático, posteriormente se soluciona dicho problema teniendo en función de las siguientes fases: (1) Establecer las variables de un determinado problema, habitualmente las variables son de índole cuantitativo cuyo objetivo es encontrar los valores que optimicen la función objetivo. (2) Establecer cuáles serán las decisiones aceptables; Esto da como resultado una serie de limitaciones que se fijan teniendo en cuenta la índole del problema que se está abordando. (3) Sin embargo, los criterios adicionales incorporados no se consideran explícitamente, deben cumplirse en situaciones reales donde, si ciertas variables de decisión deben tomar cero como valor, o si deben tener valores enteros. En cuanto se obtenga el modelo matemático, continua el resolverlos, con

la aplicación de métodos y técnicas de optimización la cual implica en encontrar el mejor valor que pueda existir y una solución idónea.

Al respecto el estudio realizado por Hermitaño (2019) menciona un tipo de VRP y propone la siguiente fórmula matemática:

$$(CVRP) \min \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} \dots \dots \dots (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{i \in \Delta^-(j)} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in V - \{0\} \dots \dots (2)$$

$$\sum_{i \in \Delta^+(i)} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in V - \{0\} \dots \dots (3)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(0)} x_{i0} = m \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$\sum_{i \in \Delta^+(0)} x_{i0} = m \quad \dots \dots \dots (5)$$

$$\sum_{i \in S, j \in \Delta^+(i)-S} x_{ij} \geq r(S) \quad \forall S \subset V - \{0\} \dots (6)$$

$$m \geq 1$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in E \dots \dots \dots (7)$$

(1) Ecuación de la función objetivo la cual se interpreta como la función que de la solución al problema. Representa a las variables  $x_{ij}$ , = 01 cuando el vehículo cubre la ruta hacia el cliente  $i$  al cliente  $j$ . (2) y (3) representan las restricciones que limitan la participación de cada cliente a una sola vía vehicular, lo que significa que el usuario es atendido por un solo vehículo, y además, el vehículo solo debe entrar y salir por única vez (salvo del almacén). (4) y (5) "m" es el número de vehículos usados en la resolución y que el total de los vehículos que salen del almacén deben regresar. (6) actúa las limitaciones para la eliminación de sub-rutas y a la vez obliga que la demanda total de los usuarios atendidos por un vehículo no logra pasar la cantidad. (7) son restricciones que fijan al modelo como lineal entero binario.

Es importante tener en cuenta lo manifestado por Imbaquingo (2018) quien indica que en el proceso de optimizar una función objetivo relativo a determinadas variables que tienen restricciones se debe elegir al mejor elemento (según algún enfoque) de un colectivo de factores que se encuentren disponibles.

Para Bányai et al.,(2019) tanto los modelos matemáticos como los algoritmos son herramientas relevantes para el diseño y control de problemas de recolección y tratamiento de residuos, ya que un número considerable de modelos determina un problema de optimización. Sobre el particular, Correa (2018) enfatiza que los inconvenientes en la programación matemática ejercen un papel importante en los problemas de optimización.

La diferencia entre los VRP tradicional y el VRP de recolección de residuos (WCVRP) es el número de características y restricciones que dificultan el enrutamiento y requieren un manejo especial.(Dotoli et al., 2017).

Según la investigación realizada por Dotoli et al.,(2017) las rutas óptimas son aquellas que mejor pueden equilibrar la minimización de la distancia total recorrida (del costo del transporte y el impacto ambiental), la maximización de la cantidad total de desechos recolectados y la maximización del valor comercial general. de los retiros. En esta misma investigación, Dotoli, et. al. ( 2017) indica que la distancia recorrida también está estrictamente correlacionada con la minimización de costos y emisiones, esta afirmación es respaldada por Marampoutis et. al., (2022) quien indica que las emisiones son perfectamente proporcionales a la distancia recorrida y dependen del vehículo utilizado.

Por consiguiente, la liberación de gases contaminantes causadas por el combustible se formula basado en la velocidad y la distancia recorrida de la ruta. La suma de emisiones se calcula en relación con las millas desplazadas y la variación de velocidad a lo largo del trayecto.(Toro et. al., 2020).

El enrutamiento óptimo y la asignación de vehículos son una de las decisiones importantes de organizaciones como los municipios en la recolección de residuos urbanos, ya que la asignación óptima de vehículos y su enrutamiento óptimo pueden conducir a una reducción porcentual significativa de los costos relacionados. (Babae et al., 2019)

En el desarrollo de la búsqueda bibliográfica, se han identificado muchos trabajos dedicados a la optimización del enrutamiento de vehículos para la recolección de los residuos sólidos que incluyen como metodología la Programación Lineal, Programación no lineal de enteros mixtos (MILP), las múltiples ventanas de tiempo, el algoritmo genético, búsqueda de vecindad variable (VNS) y la propuesta de Clark y Wright. Para Bányai et al. (2019). Desde un enfoque logístico y tecnológico los métodos mencionados hacen factible la optimización del sistema de gestión de residuos sólidos. La literatura describe una amplia gama de modelos de recolección de residuos, pero estos modelos generalmente se basan en tecnologías convencionales y soluciones inteligentes que no se toman en consideración en países en desarrollo. (Bányai et al. 2019)

La naturaleza lineal del método de programación Lineal, significa que el total de las funciones matemáticas del modelo necesitan ser lineales. En este sentido, la definición de programación no se refiere al campo computacional, sino que es esencialmente sinónimo de planificación. Por lo tanto, la programación lineal implica planificar tareas para lograr un resultado idóneo y maximizar un procedimiento, en otras palabras, al resultado que mejor logre el objetivo definido por el modelo matemático. (León et al., 2019).

Al respecto Correa, (2018) manifiesta que el principal objetivo de la programación lineal es perfeccionar (minimizar o maximizar) una función lineal de “n” variables sujeto a limitaciones lineales de igualdad o desigualdad, denominada función objetivo.

En el estudio realizado por Asefi et al. (2019) se aplica la programación lineal de enteros mixtos (MILP), para disminuir el problema de enrutamiento, los resultados obtenidos demuestran que los algoritmos propuestos son eficientes para resolver los problemas en lapsos cortos de tiempo.

Por su parte Babae et al. (2019) aplicaron la programación lineal de enteros mixtos (MILP), para la recolección de residuos urbanos, que estableció como objetivo determinar las rutas de servicio óptimas y el número óptimo de vehículos usados, los resultados obtenidos demuestran que el algoritmo ofrece soluciones casi

óptimas en comparación con el solucionador CPLEX el cual al ser aplicado en un estudio caso, demuestra una disminución de un 13.3% en el costo total.

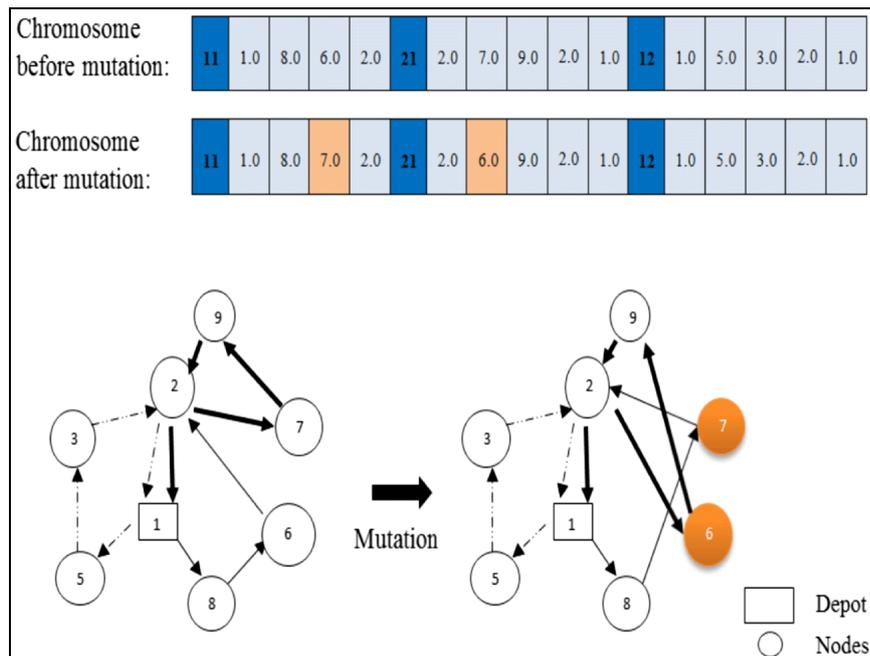
El algoritmo genético es otro procedimiento de optimización el que consiste en la búsqueda global de soluciones que resuelve el problema imitando la evolución biológica, ya que utiliza la reproducción y la mutación para desarrollar una nueva generación de soluciones a partir de la generación actual de soluciones. (Wilk, et al., 2012)

Para Kumar et al. (2010) Un algoritmo genético es un método para hallar soluciones exactas o aproximadas a problemas de optimización, que aplica técnicas basado en la biología evolutiva, como la herencia, la mutación, la selección y el cruce, y se han utilizado para resolver problemas de optimización como programación, ruta más corta, etc.

Amal et. al., (2018) considera que como secuencias a seguir para la aplicación de esta metodología las siguientes: (1) La selección (reproducción) copia cromosomas de alta calidad en la próxima generación para mejorar la calidad de la población. (2) el operador cruzado que combina dos individuos padres intercambiando algunas partes de estos cromosomas para crear una nueva descendencia. (3) El cruce en los problemas de enrutamiento selecciona cada ruta parcial de las dos soluciones para producir una ruta. (4) Después del cruce, los operadores de mutación se utilizan para preservar la diversificación de la población. Implica el cambio aleatorio de un cromosoma. Todas las operaciones genéticas se utilizan para obtener mejores soluciones en el método propuesto.

La mutación de intercambio es el enfoque, con el que se aplica esta metodología que consiste en seleccionar. aleatoriamente dos posiciones de nodos e intercambiamos sus valores para obtener diversificación en la población mediante la creación de una nueva solución. (Amal et. al.,2018).

Figura 1: Representación del Algoritmo Genético



Fuente: Amal et. al.,(2018)

De manera diferente, otro método de optimización es el denominado el problema del vendedor ambulante (TSP), el cual implica encontrar la distancia de recorrido más corta para un vendedor que desea visitar cada ciudad en un grupo de ciudades totalmente conectadas exactamente una vez. TSP es un problema de optimización discreta. (Nurdiawan et al. 2020) tal afirmación es redoblado por lo manifestado por Rokbani et al. (2021) quienes indican que el problema del vendedor ambulante (TSP) es un problema de optimización combinatoria en el que un vendedor tiene como objetivo visitar un conjunto de ciudades y volver a su localidad de origen.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1 Tipo y diseño de investigación

Según la clasificación realizada por Hernandez et. al. (2014) la presente investigación, es una investigación de tipo aplicada y tiene un diseño no experimental transversal ya que se recopilaron datos en un determinado momento, mediante la revisión sistemática de artículos científicos la que consiste en identificar, examinar y obtener fuentes documentales que sustenten el objetivo del presente estudio de investigación, de tal forma que sea selectiva y estén vinculadas directamente con el planteamiento del problema de la presente investigación.

#### 3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización

Tabla 2: Matriz de Caracterización

N°	Problemas específicos	Objetivos específicos	Categoría	Subcategoría
1	¿Qué técnica emplea el menor tiempo para resolver el problema de enrutamiento vehicular en la gestión de residuos?	Determinar la técnica con menos tiempo de cobertura para resolver el problema de enrutamiento de vehículos en la gestión de residuos sólidos	Recolección	Cobertura
2	¿Qué técnica emplea el menor costo operativo para resolver el problema de enrutamiento vehicular en la gestión de residuos?	Determinar la técnica con menos costo operativo para resolver el problema de enrutamiento de vehículos en la gestión de residuos sólidos.	Costo-beneficio	Eficacia
3	¿Qué técnica genera el menor impacto ambiental para resolver el problema de enrutamiento vehicular en la gestión de residuos?	Determinar la técnica que genera menor impacto ambiental para resolver el problema de enrutamiento de vehículos en la gestión de residuos sólidos.	Ambiental	Eficacia

#### 3.3 Escenario de estudio.

Esta investigación tiene como escenario la gestión de residuos sólidos municipales a través de investigaciones llevadas a cabo principalmente en

ciudades de países desarrollados como: Urfa y Estambul en Turquía, Lyon en Francia, Sfax en Túnez y finalmente se incluyó un estudio de aplicación en la ciudad de Cuzco en Perú.

### **3.4 Participantes**

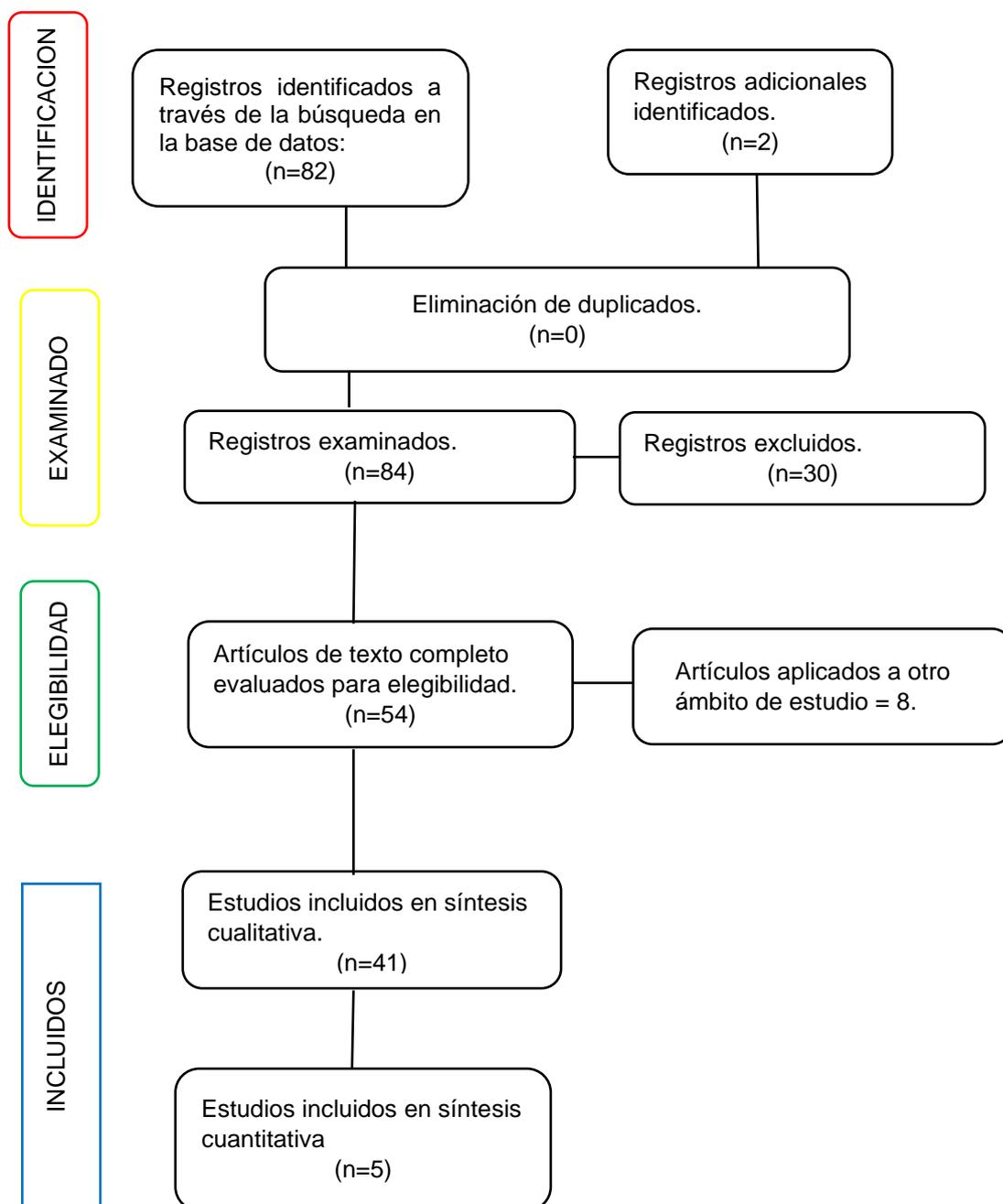
La investigación se realizó mediante la revisión sistemática de artículos científicos de plataformas como: Science Direct (<https://www.sciencedirect.com/>), Springerlink (<https://link.springer.com/>), Sage Journals (<https://journals.sagepub.com/>), IOPscience (<https://iopscience.iop.org/>), IEEE (<https://open.ieee.org/>), MDPI (<https://www.mdpi.com/>), Chemical Engineering Transactions (<https://www.cetjournal.it/index.php/cet>), KoreaScience (<https://koreascience.kr/main.page>), Hindawi (<https://www.hindawi.com/>), Scientific Research Publishing (<https://www.scirp.org/>), International Journal of Information Technology and Knowledge Management (<https://www.inderscience.com/index.php>).

Además, se incluyó diversos repositorios institucionales para acceder a diversas investigaciones.

### **3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La técnica de investigación utilizada fue el análisis de datos según la siguiente figura:

Figura 2: Procedimiento de búsqueda de referencias



### 3.6 Procedimiento

Se realizaron búsquedas avanzadas en las plataformas de base de datos de Science Direct (Q1), Springerlink (Q1), Sage Journals, IOPscience, IEEE (Q1), MDPI (Q1), Chemical Engineering Transactions (Q3), KoreaScience, Hindawi (Q2), Scientific Research Publishing, International Journal of

Information Technology and Knowledge Management, ya que cubre una amplia gama de publicaciones académicas.

También se recurrió a las investigaciones realizadas en las diversas universidades de Sudamérica, los cuales fueron ubicados a través de sus repositorios institucionales respectivamente.

En ambos casos se consideró artículos e investigaciones publicados entre los años 2018 y 2022 en mayor porcentaje.

Inicialmente, solo se seleccionaron publicaciones que contienen palabras como "Vehicle Routing Problem, (Problema de enrutamiento vehicular)" y "Municipal Solid Waste (Residuos sólidos Municipales)", posteriormente la búsqueda incluyó publicaciones con palabras "Optimización (optimización)", "Waste Management System (Sistema de Gestión de Residuos)", "Linear Programming (Programación lineal)", "Genetic Algorithm (Algoritmo genético)" y "Street Vendor Problem (Problema del vendedor ambulante)"

Los términos " Municipal Solid Waste " y " Waste Management System " excluyeron de esta búsqueda estudios relacionados a la logística y otras aplicaciones de las metodologías del problema de enrutamiento vehicular. Además, esta investigación se limita al área temática de Gestión de residuos sólidos.

Siguiendo el proceso descrito y como se ve en la Figura 2: Procedimiento de búsqueda de referencias, 84 artículos resultaron para ser examinados y luego fueron seleccionados de acuerdo con la relevancia y aporte al objetivo de la presente investigación.

### **3.7 Rigor científico**

La presente investigación se desarrolló en base a documentación científica que se encuentran en diversas plataformas reconocidas que pertenecen al Q1, Q2 y Q3. Dichos cuartiles ordenan las revistas a las revistas de mayor a menor impacto, con lo cual la veracidad de la investigación es estrictamente basada en el desarrollo de esa documentación, de esa forma se cumple con

las características de rigor científico que incluye criterios de dependencia, credibilidad, transferencia y confirmación. (Hernandez, Fernandez, Baptista 2014)

### **3.8 Método de análisis de datos**

El método de análisis de datos se realizó en base de la matriz de categorización (Tabla 2). En el cual se encuentran las categorías y subcategorías de la investigación que se determinaron a raíz de los objetivos específicos.

### **3.9 Aspectos éticos**

Para el desarrollo de la presente investigación, las referencias bibliográficas correspondientes a los diferentes autores, cuyos estudios han sido incluidos en la presente investigación, han sido citados en formato ISO 690 y además existe el firme compromiso de respetar el código de ética en investigación de la Universidad Cesar Vallejo.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se han analizado y evaluado varios panoramas y diversos casos de estudios relacionados con diversos métodos utilizados para resolver el problema del enrutamiento de vehículos en la recolección de residuos sólidos para su aplicación específica y beneficios exclusivos. Los estudios de casos manifiestan que la recogida de residuos municipales se apoya de la estructura ideal del sistema de gestión de residuos, que, debe analizarse para posteriormente ser optimizado.

Tabla 3: Análisis de las referencias examinadas.

Temas	Total	Tipo de Fuente				
		Revistas Científicas	Estudios Casos	Página web	Libro	Tesis
Método Clark y Wright.	1	(1)*	-	-	-	-
Método Colonia de Hormigas.	1	(1)*	-	-	-	-
Metodología de la Investigación.	1	-	-	-	(1)*	-
Optimización de la Recolección.	8	5(1)*	-	-	-	2
Problema de enrutamiento vehicular.	11	6	-	-	2	3
Método Programación lineal.	8	5	3	-	-	-
Método Programación no lineal.	1	(1)*	-	-	-	-
Gestión de Residuos Sólidos.	8	4(2)*	-	(1)*	-	(1)*
Método Algoritmo Genético	5	2(1)*	1	-	-	1
Método Problema del Vendedor Ambulante	2	1	1	-	-	-

(\*) Artículos de menor relevancia.

La Tabla 3, resume el análisis de la bibliografía utilizada para la elaboración del presente trabajo de investigación, en el cual se evidencian mayor cantidad de artículos científicos relacionados a la metodología que aplica la programación lineal, identificándose 3 estudios casos que fueron considerados para analizar sus formas aplicativas, las metodologías correspondientes al algoritmo genético (SGA) y al vendedor ambulante (TSP) también fueron considerados ya que se encontraron al menos 2 referencias que trataron sobre su aplicación.

En la Tabla 4 se sintetizan tres estudios caso en las que se aplicaron la programación lineal, con el objetivo de determinar las principales características de

este modelo matemático para resolver el problema del enrutamiento vehicular en la gestión de residuos sólidos.

Tabla 4: Estudio Caso de (I) Programación Lineal.

	<b>Rizvanoğlu et al. (2019)</b>	<b>Marampoutis et al., (2022)</b>	<b>León et al., (2019)</b>
Estudio Caso	Urfa/ Turquía	Lyon/Franc	Cuzco/Perú
Consideraciones/ metodologías Adicionales.	Sistema de información geográfica (SIG) <i>Esri ArcGIS 10.3</i>	Franjas horarias:	-
Función Objetivo	Encontrar el recorrido de menor distancia.	El objetivo de este modelo es minimizar: <ul style="list-style-type: none"> <li>- el costo de enrutamiento</li> <li>- tiempo necesario para el transporte y la recolección de las cajas,</li> <li>- el costo de prioridad de llenado y el costo de prioridad de solicitud número total de franjas horarias utilizadas.</li> </ul>	Minimizar distancias y eliminar recorridos innecesarios que se han apreciado durante los recorridos en campo,
Restricciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solo se puede hacer una recolección a cada punto de recolección.</li> <li>- Prevención o eliminación de los recorridos inferiores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Un número conocido de paradas para el enrutamiento (número de clientes),</li> <li>- Una carga con división no permitida (solo una visita para cada cliente),</li> <li>- Una cantidad determinista de demanda de servicio al cliente,</li> <li>- Un tiempo de servicio determinista in situ (dependiente de la demanda),</li> <li>- Un horizonte temporal basado en varios períodos,</li> <li>- Un conjunto de nodos con solicitudes de recogida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- clientes</li> <li>- depositos</li> <li>- capacidad de vehículos</li> <li>- Franjas horarias</li> </ul>
Tipo de vehículos	Vehículo de recogida de residuos por compresión hidráulica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bicicleta</li> <li>- vehículo comercial ligero (modelo Kangoo).</li> <li>- furgoneta clásica (modelo Trafic)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- cinco vehículos compactadores para servir a las zonas urbanas</li> </ul>
Software	Sistema de Modelado Algebraico General (GAMS) Excel ( <i>herramienta de conversión de Excel de la caja de herramientas de ArcMap</i> ).	Programa Python, utilizando Spyder	GRAFOS (extensión solver)

(\*) Franja Horaria: intervalos de tiempo predefinidos en los que puede tener lugar la recogida. Estas franjas horarias se pueden programar en cualquier momento durante el horizonte temporal que puede conducir a un tiempo de inactividad.

En la Tabla 4 se puede visualizar tres estudios casos en los que se pone en práctica la programación lineal en el transporte de residuos sólidos los cuales son comparados para analizar sus principales particularidades, observándose que las funciones objetivas para la gestión de residuos sólidos en estos tres estudios casos tienden a minimizar sus objetivos (distancias y tiempos), lo que converge con lo manifestado por Correa (2018) quien indica que la optimización puede minimizar o maximizar las variable de la función lineal. Además, que se evidencia que no existe un número máximo o mínimo de restricciones, según sea el caso, que para Imbaquingo (2018) deben ser elegidos según la necesidad de resolver la función objetivo. Se puede afirmar también que al determinar las restricciones para cada estudio se considera el número rutas, el número de nodos o clientes a visitar, la distancia de los depósitos finales y el tiempo empleado entre nodos o hasta la disposición final.

Es importante tener en cuenta que para la aplicación de una metodología de programación lineal para solucionar el problema de enrutamiento vehicular aplicado en la gestión de los residuos sólidos, las investigaciones demuestran que deben ser complementadas con Software tales como Excel (herramienta de conversión de Excel de la caja de herramientas de ArcMap), Esri ArcGIS 10.3, Python, GRAFOS (extensión solver), lo que les permite analizar, sintetizar y aplicar los datos de ubicación y distancias entre nodos o clientes.

Como parte de este estudio, se analizó la ruta y programación de recolección de residuos sólidos que fue aplicado en el vecindario Veysel Karani del distrito de Haliliye en Syise, perteneciente a la provincia de Urfa, Turquía en donde Rızvanoğlu et al.,(2019) estableció un modelo de programación lineal para la optimización de las rutas de recogida y transporte de residuos sólidos municipales, cuya distancia total recorrida por los vehículos es de 21,6 km.

El problema tratado en el estudio que tuvo como función objetivo encontrar el recorrido de menor distancia, fue resuelto con la aplicación de programación lineal con los siguientes resultados:

Tabla 5: Resultados comparativos entre la situación actual y la aplicación de la programación lineal – Caso Urfa/ Turquía.

No.	Puntos*	Modelo de programación lineal (metros)	Estado actual (metros)
1	1-10	791	1377
2	1-20	1236	1701
3	1-30	1725	2234
4	1-40	2388	2643
5	1-50	3485	3429
6	1-60	3554	4012
7	1-70	3902	4595
8	1-80	4434	4884
9	1-90	4697	5605
10	1-100	5370	8437
11	1-110	5933	10431
12	1-120	7550	11156
13	1-130	8229	11697
14	1-140	8178	12571
15	1-150	8294	12683
16	1-160	9138	13094
17	1-170	8199	13644
18	1-180	9571	14583
19	1-190	10296	15735
20	1-200	10540	16106
21	1-210	10544	16445
22	1-220	10346	17089
23	1-230	11285	17512
24	1-240	14058	18108
25	1-250	12075	18846
26	1-260	14664	19302
27	1-270	15316	20361
28	1-280	14342	21603
TOTAL		220140	319883

(\*) Puntos: se determinó un punto de partida a partir del cual se miden las distancias a todos los demás puntos y luego también las distancias entre cada uno de esos otros puntos

En los resultados de la Tabla 5 se compara fácilmente los datos obtenidos en 28 puntos de recolección de residuos sólidos del barrio de Veysel Karani/ Turkia en su estado actual, distribuidos en 21,6 km; versus los datos obtenidos con la aplicación de la programación lineal. En donde se demuestra que la aplicación de la programación lineal disminuye las distancias recorridas en un 31% comparadas a las rutas actuales para la recolección de residuos sólidos municipales en el lugar de estudio, lo que resulta concordante con lo indicado por Marampoutis, et al.,(2022) quien en su investigación manifestó que la programación lineal proporciona la solución óptima para instancias pequeñas y medianas.

El siguiente caso analizado fue el realizado por Marampoutis et. al., (2022) en la ciudad de Lyon, Francia, cuya función objetivo fue minimizar el tiempo necesario para la recogida de las botellas de vidrio (reciclaje) teniendo en cuenta para cada ruta, el tiempo de viaje, así como el tiempo de recogida fijo y variable.

Los resultados obtenidos por Marampoutis,et.al., (2022) en su investigación muestran la evaluación de la calidad de las soluciones según las dimensiones, operativas, económicas y ambientales. Es por eso que proporcionan indicadores económicos y ambientales adicionales para medir la calidad de la solución. Para entender este análisis, es necesaria cierta información financiera que considera los siguientes aspectos: (1). el coste vinculado al vehículo utilizado, (se basa en el coste del alquiler proporcionado por una multinacional francesa fabricante de automóviles Los respectivos precios de alquiler de estos dos modelos son iguales a 7€ /hora y 9€ /hora.) (2). el coste vinculado al empleado que conduce y recoge las cajas en cada parada, (El costo vinculado al empleado se basa en la tarifa bruta por hora del salario mínimo en Francia, que es de 10,15 €) y (3). los ingresos vinculados al número de botellas recogidas.

En este estudio se analiza el recorrido en 20 nodos o clientes en un margen de 10 km.

Tabla 6: Resultados Diferenciales entre la situación actual y la aplicación de la programación lineal – Instancia a pequeña escala - Caso Lyon, Francia.

Identificación escala pequeña (*)	Tiempo (s)	Enrutamiento coste (€)	Renta (€)	CO2 (kg)
S1	0.23	16.98	65.28	1.96
S2	0.34	27.76	51.00	3.70
S3	0.30	32.00	83.64	4.94
S4	0.27	42.45	42.84	7.07
S5	0.33	42.79	97.92	5.86
S6	0.32	42.53	97.92	5.75
S7	–	-	-	-
S8	0.16	93.93	97.92	0.00

(\*) Instancia a pequeña escala: cercano al depósito.

La Tabla 6 muestra los resultados en tiempo y costo de la aplicación de la programación lineal en la ciudad de Lyon, Francia. En cuanto al tiempo, todas las soluciones proporcionadas son óptimas y se obtienen en menos de 0,5 segundos. Comparando el costo de enrutamiento de las soluciones se observa que lógicamente las rutas más cercanas al depósito ofrecen mejores resultados, siendo un resultado proporcional a la emisión de CO<sub>2</sub> relacionado al impacto ambiental.

Tabla 7: Resultados Diferenciales entre la situación actual y la aplicación de la programación lineal – Instancia a mediana escala - Caso Lyon, Francia.

Identificación escala mediana (*)	Tiempo (s)	Enrutamiento coste (€)	Renta (€)	CO2 (kg)
M1	876	62.19	155.04	8.92
M2	1228	60.07	155.04	8.30
M3	3266	68.20	228.48	10.85
M4	102	68.38	228.48	10.93
M5	578	68.20	228.48	10.85
M6	695	69.68	228.48	10.82
M7	183	56.26	228.48	8.36
M8	104	56.26	228.48	8.36

(\*) Instancia a mediana escala: encuentran más alejados y más o menos extendidos.

La Tabla 7 demuestra que todas las soluciones proporcionadas son óptimas para una mediana escala y las distancias recorridas pueden mejorar en 20 minutos (879 segundos) en promedio. Todas estas soluciones de instancias de mediana escala resaltan la reducción de costes ya que adicionalmente se utilizan vehículos con mayor capacidad. Tales resultados permiten notar un impacto beneficioso relacionado con el uso de una furgoneta para la recolección de botellas, con un balance positivo y bajas emisiones. el uso de la capacidad del vehículo favorece en la optimización. Este resultado demuestra lo indicado por Bányai et al. (2019) quien indica que la elección del tipo de vehículo y el tipo de contenedor de residuos es crucial ya que el rendimiento de los sistemas de recogida de residuos, los costos y emisiones son efecto de la elección del uso de camiones, remolques o camiones compactadores.

Tabla 8: Resultados Diferenciales entre la situación actual y la aplicación de la programación lineal Instancia a gran escala- Caso Lyon, Francia.

Identificación escala mayor (*)	Tiempo (s)	Enrutamiento coste (€)	Renta (€)	CO2 (kg)
L1	3600	116.06	383.52	18.08
L2	3600	93.61	383.52	14.32
L3	3600	111.83	383.52	19.07
L4	3600	94.84	383.52	15.00

(\*) Instancia a gran escala: ubicados lejos del depósito y entre sí.

Para (Marampoutis, Vinot, Trilling 2022), los resultados mostrados en la Tabla 8 no demuestran que todas las soluciones proporcionadas sean óptimas y, asegura que en ocasiones, alcanzan el límite de tiempo de 3600s. El mejor rendimiento observado se debe a la restricción de capacidad del vehículo, que limita el número de clientes recogidos en una ruta, por lo tanto, la longitud ilustra los vínculos entre el tiempo de recorrido y la emisión.

En resumen, los resultados obtenidos por Marampoutis et. al., (2022), tiene en cuenta la capacidad del vehículo para determinar el tiempo y las distancias a recorrer lo que implica considerar factores económicos y ambientales.

Los resultados obtenidos por León et. al., (2019) en el distrito de San Jerónimo en Cuzco, el cual hace un recorrido total de 50.6 km, se visualizan en la Tabla 9, la

cual resume las distancias recorridas por día y mes de cada uno de los vehículos, haciendo un comparativo con los resultados obtenidos con la aplicación de la programación vehicular, dicha tabla también incluye la mejora en metros de la aplicación del método mencionado, haciendo un fácil reconocimiento de la optimización en este caso.

Tabla 9: Resultados comparativos entre la situación actual y la aplicación de la programación lineal – Distancias - Caso Cuzco/Perú.

Placa	RUTAS ACTUALES				RUTAS PROPUESTAS EN BASE A LA PROGRAMACION LINEAL			MEJORA
	Rutas asignadas	Distancia por día (km)	Distancia por mes (km)	Distancia total por camión (km)	Distancia por día (km)	Distancia por mes (km)	Distancia total por camión (km)	
EGB-059	1	50.598	404.784	1.181.704	49.651	397.208	1.152.928	28.776
	6	48.948	391.584		47.281	378.248		
	12	48.167	385.336		47.184	377.472		
EGZ-263	2	53.463	427.704	1.240.280	51.420	411.360	1.169.680	70.600
	7	51.830	414.640		49.010	392.080		
	13	49.742	397.936		45.780	366.240		
EGJ-956	3	51.285	410.280	1.208.208	48.124	384.992	1.155.576	52.632
	8	49.513	396.104		47.027	376.216		
	11	50.228	401.824		49.296	394.368		
EGM-031	4	48.737	389.896	1.225.000	47.742	381.936	1.201.720	23.280
	9	55.151	441.208		54.312	434.496		
	14	49.237	393.896		48.161	385.288		
EGM-630	5	52.865	422.920	1.305.624	50.007	400.056	1.212.624	93.000
	10	56.897	455.176		52.696	421.568		
	15	53.441	427.528		48.875	391.000		
TOTAL, ACUMULADO				<b>6.160.816</b>	TOTAL, ACUMULADO		<b>5.892.528</b>	268.288

En la Tabla 9 se resume la implementación de un método ordenado y secuencial en base a la herramienta de programación lineal para modelar y optimizar el recorrido de las rutas de recolección de residuos sólidos en este estudio caso, demostrando que su aplicación reduce las distancias recorridas en un 4%.

Tabla 10: Resultados comparativos entre la situación actual y la aplicación de la programación lineal - Combustible- Caso Cuzco/Perú

Placa	RUTAS ACTUALES			RUTAS PROPUESTAS EN BASE A LA PROPAGACION LINEAL			MEJORA	
	Consumo por semana (gal)	Consumo por mes (gal)	Total, por mes (S/)	Consumo por semana (gal)	Consumo por mes (gal)	Total, por mes (S/)	GAL	SOLES
EGB-059	90	360	4532.40	88	351	4422.03	9	110.37
EGZ-263	105	420	5287.80	99	396	4986.80	24	301.00
EGJ-956	80	320	4028.80	77	306	3853.30	14	175.50
EGM-031	80	320	4028.80	78	314	3952.24	6	76.56
EGM-630	70	280	3525.20	65	260	3274.10	20	251.10
		1700	21403.00		1627	20488.47	73	914.53

(\*) Precio de un galón de diésel al mes de diciembre de 2018: S/.12.59.

Además, en la Tabla 10, se analiza y se resume los consumos en (gal) por cada uno de los vehículos que recorren las rutas de recolección de residuos sólidos que finalmente representan una inversión económica para su municipalidad, sin embargo, se evidencia que con la aplicación de la programación lineal estos costos pueden disminuir.

El análisis que corresponde a la etapa de modelamiento del problema demuestra que en la aplicación de la programación lineal nos permite estudiar y analizar las distancias recorridas y el consumo de combustible de los vehículos recolectores de residuos.

Tabla 11: Resumen de la Metodología Programación Lineal.

Referencia	Estudio/Caso	Total, de recorrido (km)	Distancias de viajes (m)	Diferencia tiempo (s)	Diferencia costo	Diferencia impacto (kg)	% de Mejora
(Rizvanoğlu et al. 2019)	Urfa/ Turquía	21,6	99 743	-	-	-	31% distancia
(Marampoutis, Vinot, Trilling 2022)	Lyon/Franc	10	-	0.24	59.64 (€)	4.2	
			-	879	136.89(€)	9.77	
			-	3600	73 (€)	17	
(León, Quispe 2019)	Cuzco/Perú	50.6	268288	-	914.5(S/.)	-	4% distancia

En ese sentido, tras analizar los tres estudios casos en los que se aplica, la programación lineal podemos manifestar (Tabla 11):

- La programación lineal solo da una solución óptima para problemas de cierta distancia por lo que a medida que las distancias del problema aumentan, el modelo de programación lineal puede volverse inadecuado.
- Los costos operativos también tienden a disminuir, sin embargo, deben de considerarse restricciones de tiempo y capacidad del vehículo para la formulación de la función objetivo, así como las distancia a sus centros de acopio.
- Cada problema abordado manifestó circunstancias diferentes por lo que la formulación matemática debe considerar restricciones diferentes de acuerdo con su función objetiva.

Los nuevos métodos utilizados en conjunto con la tecnología que siguen en desarrollo agregan resultados significativos a la solución del problema de enrutamiento vehicular para la gestión de residuos sólidos. Al disminuir consumos de combustible, y minimizar distancias, la programación lineal contribuye a la disminución de las emisiones medio ambientales.

En la Tabla 12, se analizan dos estudios casos que aplican el algoritmo genético y el Problema del vendedor ambulante, los cuales fueron aplicados en Sfax/Túnez y Estambul/Turquía, respectivamente. Este último caso resulta de interés ya que considera la seguridad de transporte por tratar con residuos sólidos peligrosos segregados a raíz de la pandemia por la Covid-19.

Tabla 12: Estudio Caso – (II) Algoritmo Genético y (III) Problema de Vendedor ambulante.

Metodología	Amal, et. al, (2018)	Eren,et. al., (2021)
	Algoritmo Genético (SGA)	Problema del vendedor ambulante (TSP)
Estudio Caso	Sfax/Túnez	Estambul/Turquía
Consideraciones/ metodologías Adicionales.	Mutación de intercambio.	Puntuaciones de seguridad de hospitales Función de membresía.
Función Objetivo	Minimizar el tiempo de recolección de residuos de todos los vehículos, se induce además que la función se puede extender para minimizar la distancia de viaje y otros factores de emisión ambiental.	- Optimiza la distancia mínima para el transporte de residuos médicos y la segunda función objetiva para realizar el transporte con la mayor seguridad posible se optimizan juntas.
Restricciones	- Cada ruta comienza desde el depósito. - El último viaje desde un nodo en esa ruta debe regresar al depósito	- Seguridad en el transporte.
Tipo de vehículos	- tractor agrícola - camión volquete - vehículo compactador	- 27 vehículos con capacidades que varían entre 10 m <sup>3</sup> y 28 m <sup>3</sup>
Software	ArcGIS Desktop 10.1_(función Dijkstra). Python	Gams 23.5.1

A diferencia de otros casos vistos en la presente investigación, Eren et. al (2021) incluye la seguridad hospitalaria, como un factor importante en el modelo matemático a implementar. En ese sentido, para este caso (Estambul/Turquía) se establecieron criterios de recolección, almacenamiento temporal y transporte al examinar el riesgo de contaminación de virus en el proceso de transporte de desechos médicos desde la formación hasta la instalación de eliminación, por lo que en este estudio se toma en cuenta la seguridad del transporte.

Por lo tanto, para la aplicación de la metodología del del vendedor ambulante, fue realizado de forma polivalente (índice de seguridad de varios hospitales), y (Eren,

Rifat Tuzkaya 2021) establece una función objetiva basada en la seguridad de la logística de residuos médicos.

Tabla 13: Resultados comparativos entre la situación actual (prácticas) y la aplicación del Algoritmo Genético – caso Sfax/Túnez.

Criterios	Rutas prácticas	SGA	Mejora
Distancias de viaje (km)	166.75	153.68	8%
Tiempo de funcionamiento (h)	15.2	10.91	28%
Consumo de combustible (L)	70.49	68.18	3%
Promedio de liberación CO <sub>2</sub> del camión (g/km)	3918.6	3611.7	8%

Según la Tabla 13, la distancia de viaje de SGA es 13 km más corta que la de las rutas prácticas, lo que representa una mejora del 8%. Los mismos resultados se han encontrado con el consumo de combustible y la liberación promedio del camión con mejoras de 3% y 8% respectivamente. Es, de hecho, una prueba que demuestra la eficacia del método SGA que se propone en el estudio realizado por Amal et. al, (2018)

Por otra parte, en el contexto de la Covid-19, Eren et. al., (2021) realiza una investigación sobre el enrutamiento de vehículos para trasladar residuos peligrosos, teniendo como una variable de decisión la seguridad del transporte. Este estudio tiene dos funciones objetivo: (1) Optimiza la distancia mínima para el transporte de residuos médicos y (2) realizar el transporte con la mayor seguridad posible. Así se busca optimizar ambas funciones juntas.

Tabla 14: Resultado de los Valores de las funciones objetivas y resultado óptimo, aplicación de (TSP) – caso Estambul/Turquía.

	Distancia mínima (km) Seguridad máxima (S)	Resultado en función del otro objetivo	Resultado óptimo
Función objetivo (1)	188,05	388,2	235,75
Función objetivo (2)	104,54	32,32	78,83

En Tabla 14 se resume el resultado obtenido por Eren et. al., (2021) quien propone un modelo para el transporte de desechos médicos con la ruta más segura y corta posible dentro de la ciudad de Estambul, que es la provincia más concurrida de Turquía. El cálculo de los valores óptimos para las funciones objetivas fue seguido por la etapa de solución en la que se utilizó un enfoque de modelo de programación lineal ya que se necesitan los valores límite inferior y superior que las funciones objetivas pueden asumir. En consecuencia, los valores de enrutamiento obtenidos para la solución de cada función objetivo se conectaron a la otra función objetivo, que arrojó los valores de la Tabla 14.

Después de haber estudiado los diversos casos de aplicación de las metodologías correspondientes a la programación Lineal, algoritmo genético y el problema del Vendedor Ambulante, la Tabla 15 muestra los resultados lo cuales han sido considerados en función a los objetivos propuestos en la presente investigación.

Tabla 15: Análisis general de las metodologías (I), (II) y (III)

	<b>PROGRAMACION LINEAL</b>	<b>ALGORITMO GENETICO</b>	<b>PROBLEMA DEL VENDEDOR ABULANTE</b>
¿Los resultados Obtenidos en el análisis de las metodologías, muestran menos tiempo de cobertura para resolver el problema de enrutamiento de vehículos en la gestión de residuos sólidos?	Si	Si	-
¿Los resultados Obtenidos en el análisis de las metodologías, muestran menos costo operativo para resolver el problema de enrutamiento de vehículos en la gestión de residuos sólidos?	Si	Si	-
¿Los resultados Obtenidos en el análisis de las metodologías, muestran menos impactos ambientales para resolver el problema de enrutamiento de vehículos en la gestión de residuos sólidos?	si	si	-

Según la Tabla 15 las metodologías estudiadas han demostrado que optimizan en tiempo, distancia costo operativo y disminuyen los impactos ambientales, por lo tanto, no es posible afirmar sobre la mejor metodología para resolver el problema

de enrutamiento de vehículos en la gestión de residuos sólidos municipales, ya que se ha demostrado que cada uno de los casos se manejan de forma particular, por lo que las restricciones que se aplican son diferentes, así como lo son los tipos de vehículos y sus capacidades.

Además, con el caso estudiado por Eren, (2021) se ejemplifico el tratamiento particular que deben tener los residuos sólidos peligrosos, que pueden causar impactos irreparables al medio ambiente, por lo que sus restricciones no consideraron los costos operativos, pero si la priorización para su gestión.

## V. CONCLUSIONES

1. Para tratar el problema de enrutamiento vehicular en la gestión de residuos se debe definir la función objetivo (minimizar o maximizar) parámetros y considerar que cada aplicación resulta diferente ya que el contexto de aplicación considera restricciones diferentes (tipos de vehículos, número de vehículos, horarios, tiempos de recorridos, tipos de residuos, distancia de disposición final y la seguridad de transporte.)
2. Como resultado de la revisión sistemática, se comprueba que los modelos que aplican la metodología programación lineal reducen la distancia de viajes que deben realizar demostrando con los casos presentados por Rizvanoğlu et al. (2019) y León et al., (2019) mejoras del 31% y 4% respectivamente, observándose que el porcentaje de mejora disminuye debido a la distancia que cada una abarca, en el primer caso la distancia de recorrido es de 21.6 km y en el segundo caso la distancia de recorrido es de 50.6 km. Por lo manifestado en ambos casos, se puede inferir que al reducir las distancias de viajes se reducen los costos operativos (diferencia de S/.914.50 caso León et al., 2019) y el impacto ambiental causado por el CO<sub>2</sub>, lo que se demuestra en el estudio realizado por Marampoutis et al., (2022) la cual evidencia que en instancias a pequeña escala, en el recorrido de la recolección de residuos la diferencia es de 59.64 € respecto al costo operativo y se reduce en 4.2 kg en relación a la cantidad de impacto, así mismo en los resultados correspondientes al instancia a mediana escala, tanto para el tiempo de recorrido como para el costo operativo existen diferencias importantes, (879s) y (139.89 €) respectivamente y con respecto al impacto ocasionado se tiene un resultado de (9.77 kg), sin embargo, al evaluar los resultados de las instancias a gran escala se comprueba que el tiempo estipulado para realizar el recorrido supera los 3600s, la diferencia del costo operativo es menor a la obtenida por la instancia intermedia y en relación a la cantidad de impacto generado la diferencia es consecuente en comparación a la pequeña y mediana instancia (17 kg) en relación a la cantidad de impacto que se produce.

3. La aplicación de la metodología algoritmo genético en la ciudad de Sfax/Túnez, demuestra diferencias relevantes en relación a las rutas practicadas, por lo que las mejoras en relación a las distancias de viaje corresponden a un 8%, con respecto al tiempo la mejora corresponde en un 28%, el consumo de combustible se reducen en un 3% parámetro que se relaciona directamente con el costo operativo y finalmente se evidencia una mejora de un 8% en relación al promedio de liberación de CO<sub>2</sub> cuya relación está ligado a la cantidad de impacto ambiental causado. Demostrándose que el algoritmo genético es una técnica que optimiza y da solución al problema del enrutamiento vehicular en la gestión de residuos sólidos.
4. En el estudio caso presentado por Eren, et al., (2021), la aplicación de la técnica del viajero ambulante se evidencia que contribuye en la gestión de residuos sólidos peligrosos (residuos de índole hospitalaria en el contexto de la Covid-19) ya que a diferencia de las otras metodología presenta dos funciones objetivos las cuales se relacionan en función del otro para obtener un resultado optimo en relación a la distancia mínima y la mayor seguridad, en ese sentido, esta metodología también usa la programación lineal para abordar la solución del problema de enrutamiento vehicular en la recolección de residuos peligrosos y no considera el costo operativo, el tiempo de viaje, ni el impacto ambiental por la generación de CO<sub>2</sub>.
5. En relación a la revisión sistemática realizada en el presente estudio se acredita que existe mayor cantidad de estudios referidos a la programación lineal la que representa un 17% de estudios que aplican esta metodología en comparación a otros métodos de optimización.

## **VI. RECOMENDACIONES**

El enrutamiento es un tema importante en la gestión de residuos, pero en la práctica, la elección del tipo de vehículo y contenedor de residuos también importa, porque el rendimiento de los sistemas de recogida de residuos y los costos y emisiones relacionados están influenciados por la elección del uso de camiones, remolques o camiones compactadores, por lo que es un componente importante de en la solución del problema de enrutamiento vehicular en la gestión de residuos sólidos.

Se tiene debe tener claro las funciones objetivas que se quieren lograr, las cuales deben ser concordantes con la situación y contexto en la que se habrá de aplicar cualquiera de las metodologías mencionadas en el presente estudio ya que también se deben definir las restricciones a afrontar en cada caso particular.

La aplicación de técnicas de optimización en las entidades gubernamentales es recomendable ya que se ha demostrado la reducción de sus costos operativos, así mismo es recomendable para aquellas empresas prestadoras de servicios de residuos sólidos (EPS RS) quienes son las encargadas del traslado de residuos sólidos peligrosos, los cuales podrían ocasionar impactos ambientales devastadores si dichos residuos no son trasladados de forma segura y considerando la menor distancia de recorrido.

## REFERENCIAS

1. AMAL, Louati, SON, Le Hoang y CHABCHOUB, Habib, 2018. SGA: spatial GIS-based genetic algorithm for route optimization of municipal solid waste collection. *Environmental Science and Pollution Research*. 1 septiembre 2018. Vol. 25, no. 27, pp. 27569-27582. DOI 10.1007/s11356-018-2826-0.
2. ANWAR, S, ELAGROUDY, S, ABDEL, M, GABER, A, BONG, C y HO, W, 2018. Optimization of solid waste management in rural villages of developing countries. *Política de Medio Ambiente de Clean Techn.* en línea. 2018. Vol. 20. [Accedido 14 agosto 2022]. DOI 10.1007/s10098-018-1485-7.
3. ARCHETTI, Claudia, PEIRANO, Lorenzo y SPERANZA, M. Grazia, 2022. Optimization in multimodal freight transportation problems: A Survey. *European Journal of Operational Research*. 16 mayo 2022. Vol. 299, no. 1, pp. 1-20. DOI 10.1016/j.ejor.2021.07.031.
4. ASEFI, H., LIM, S., MAGHREBI, M. y SHAHPARVARI, S., 2019. Mathematical modelling and heuristic approaches to the location-routing problem of a cost-effective integrated solid waste management. *Annals of Operations Research*. 1 febrero 2019. Vol. 273, no. 1, pp. 75-110. DOI 10.1007/s10479-018-2912-1.
5. BABAEE TIRKOLAEI, Erfan, ABBASIAN, Parvin, SOLTANI, Mehdi y GHAFARIAN, Seyed Ali, 2019. Developing an applied algorithm for multi-trip vehicle routing problem with time windows in urban waste collection: A case study. *Waste Management & Research*. 1 enero 2019. Vol. 37, no. 1\_suppl, pp. 4-13. DOI 10.1177/0734242X18807001.
6. BANCO MUNDIAL, 2018. Los desechos: un análisis actualizado del futuro de la gestión de los desechos sólidos. *World Bank*. en línea. 2018. [Accedido 10 junio 2022]. Recuperado a partir de: <https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management>
7. BÁNYAI, Tamás, TAMÁS, Péter, ILLÉS, Béla, STANKEVIČIŪTĖ, Živilė y BÁNYAI, Ágota, 2019. Optimization of Municipal Waste Collection Routing: Impact of Industry 4.0 Technologies on Environmental Awareness and Sustainability. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. enero 2019. Vol. 16, no. 4, pp. 634. DOI 10.3390/ijerph16040634.
8. CADENA GONZÁLEZ, Ricardo Andrés, 2018. *PROBLEMAS DE OPTIMIZACIÓN EN LA GESTIÓN LOGÍSTICA DE DISTRIBUCIÓN: UNA REVISIÓN DE LITERATURA DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS - VRP*. en línea. Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana. Recuperado a partir de: [https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/6214/digital\\_37690.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/6214/digital_37690.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

9. CORREA, Jhanmarco Edinson, 2018. *Propuesta de mejora del sistema de recolección de residuos sólidos urbanos en el distrito de Chiclayo para reducir los impactos ambientales*. en línea. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. [Accedido 14 agosto 2022]. Recuperado a partir de: <http://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/1142>Accepted: 2018-06-08T12:50:28Zpublisher: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
10. DOTOLI, Mariagrazia y EPICOCO, Nicola, 2017. A Vehicle Routing Technique for Hazardous Waste Collection. *IFAC-PapersOnLine*. 1 julio 2017. Vol. 50, no. 1, pp. 9694-9699. DOI 10.1016/j.ifacol.2017.08.2051.
11. EREN, Emre y RIFAT, Umut, 2021. Safe distance-based vehicle routing problem: Medical waste collection case study in COVID-19 pandemic. *Computers & Industrial Engineering*. 1 julio 2021. Vol. 157, pp. 107328. DOI 10.1016/j.cie.2021.107328.
12. GRAKOVA, Ekaterina, SLANINOVÁ, Kateřina, MARTINOVIČ, Jan, KŘENEK, Jan, HANZELKA, Jiří y SVATOŇ, Václav, 2018. *Waste Collection Vehicle Routing Problem on HPC Infrastructure*. Cham: Springer International Publishing. Lecture Notes in Computer Science. ISBN 978-3-319-99954-8.
13. GUERRERO, Lilliana Abarca, MAAS, Ger y HOGGLAND, William, 2013. Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Management*. 1 enero 2013. Vol. 33, no. 1, pp. 220-232. DOI 10.1016/j.wasman.2012.09.008.
14. HENAO SANTA, Fabio Alejandro y MUÑOZ RODRIGUEZ, Jhon Henry, 2020. *Formulación y solución de un problema de enrutamiento de vehículos periódico para la distribución de alimentos perecederos en la zona Sur – Oriente de la ciudad de Medellín*. en línea. Colombia: Universidad de Antioquia. [Accedido 6 julio 2022]. Recuperado a partir de: <http://hdl.handle.net/10495/16023>Accepted: 2020-08-05T04:01:42Zpublisher: Medellín, Colombia
15. HERMITAÑO, Mackiver, 2019. *OPTIMIZACIÓN DE RUTAS PARA LA RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS CON USO DE CONTENEDORES APLICANDO EL ALGORITMO COLONIA DE HORMIGAS EN LA CIUDAD DE HUARAZ*. en línea. Huaraz: Universidad Santiago Antunez de Mayolo. Recuperado a partir de: [http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/4056/T033\\_45951595\\_T.pdf](http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/4056/T033_45951595_T.pdf)
16. HERNANDEZ, Roberto, FERNANDEZ, Carlos y BAPTISTA, María del Pilar, 2014. *Metodología de la Investigación*. Sexta Edición. Mexico: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
17. HÖKE, Milas Ceren y YALCINKAYA, Sedat, 2021. Municipal solid waste transfer station planning through vehicle routing problem-based scenario

- analysis. *Waste Management & Research*. 1 enero 2021. Vol. 39, no. 1, pp. 185-196. DOI 10.1177/0734242X20966643.
18. HOYOS PINEDA, Fabián Guillermo Hoyos, 2020. *EL PROBLEMA DE ENRUTAMIENTO DE VEHÍCULOS: CASO APLICADO A LA DISTRIBUCIÓN DE UN PRODUCTO EN UNA AGRO AVÍCOLA DEL VALLE DEL CAUCA*. en línea. Palmira - Colombia: UNIVERSIDAD DEL VALLE. Recuperado a partir de: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/21456/EI%20problema%20de%20enrutamiento%20de%20veh%C3%ADculos%20caso%20aplicado%20a%20la%20distribuci%C3%B3n%20de%20un%20producto%20en%20una%20Agro%20Av%C3%ADcola%20del.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
  19. HOYOS, Ricardo, 2011. *Evaluación del impacto de las actividades de Responsabilidad Social Empresarial-RSE en los usuarios de las cadenas de supermercados de Bogotá desde una perspectiva de construcción de marca (Brand Equity)*. en línea. Colombia: Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Económicas Maestría En Administración. Recuperado a partir de: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/8050>
  20. HRABEC, Dušan, SENLAND, Preben, NEVRLÝ, Vlastimír, POPELA, Pavel, HOFF, Arild, ŠOMPLÁK, Radovan y PAVLAS, Martin, 2019. Quantity-predictive vehicle routing problem for smart waste collection. en línea. 2019. [Accedido 27 junio 2022]. DOI 10.3303/CET1976209. Accepted: 2020-01-07T08:12:38Z
  21. IMBAQUINGO USIÑA, Wilson Geovanny, 2018. *Diseño de un modelo matemático para determinar la cantidad óptima de contenedores de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Ibarra*. en línea. Universidad Técnica del Norte. [Accedido 14 agosto 2022]. Recuperado a partir de: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8359> Accepted: 2018-06-26T19:49:49Z
  22. KONSTANTAKOPOULOS, Grigorios D., GAYIALIS, Sotiris P. y KECHAGIAS, Eviplidis P., 2022. Vehicle routing problem and related algorithms for logistics distribution: a literature review and classification. *Operational Research*. 1 julio 2022. Vol. 22, no. 3, pp. 2033-2062. DOI 10.1007/s12351-020-00600-7.
  23. KOUSHIK, Paul, CHATTOPADHYAY, Subhasish, DUTTA, Amit, KRISHNA, Akhouri P. y RAY, Subhabrata, 2019. A comprehensive optimization model for integrated solid waste management system: A case study. *Environmental Engineering Research*. 2019. Vol. 24, no. 2, pp. 220-237. DOI 10.4491/eer.2018.132.
  24. KUMAR, Manoj, HUSAIN, Dr Mohammad, UPRETI, Naveen y GUPTA, Deepti, 2010. Genetic Algorithm: Review and Application. en línea. 1 diciembre 2010. DOI 10.2139/ssrn.3529843.

25. LEÓN, Yovany y QUISPE, Aderly, 2019. *Mejoramiento del sistema de recojo de residuos sólidos en el distrito de San Jerónimo – Cusco, 2018*. en línea. Universidad Andina del Cuzco. [Accedido 14 agosto 2022]. Recuperado a partir de: <http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/2791> Accepted: 2019-09-11T16:11:03Zpublisher: Universidad Andina del Cusco
26. LO STORTO, Corrado, 2021. Effectiveness-efficiency nexus in municipal solid waste management: A non-parametric evidence-based study. *Ecological Indicators*. 1 noviembre 2021. Vol. 131, pp. 108185. DOI 10.1016/j.ecolind.2021.108185.
27. MARAMPOUTIS, Isidoros, VINOT, Marina y TRILLING, Lorraine, 2022. Multi-objective vehicle routing problem with flexible scheduling for the collection of refillable glass bottles: A case study. *EURO Journal on Decision Processes*. 1 enero 2022. Vol. 10, pp. 100011. DOI 10.1016/j.ejdp.2021.100011.
28. MONTALBAN FARROÑAN, Jennry Yuniór, 2018b. *DESARROLLO DE UN PLANIFICADOR DE RUTAS PARA RECOJO DE DESECHOS SÓLIDOS UTILIZANDO ALGORITMO GENÉTICOS*. en línea. Universidad de Sipán. [Accedido 16 julio 2022]. Recuperado a partir de: <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/5226> Accepted: 2019-01-29T19:14:11Zpublisher: Universidad Señor de Sipán
29. MONZAMBE, Giovani M., MPOFU, Khumbulani y DANIYAN, Ilesanmi A., 2021. Optimal location of landfills and transfer stations for municipal solid waste in developing countries using non-linear programming. *Sustainable Futures*. 1 enero 2021. Vol. 3, pp. 100046. DOI 10.1016/j.sftr.2021.100046.
30. MONZAMBE, Giovani Magbiti, MPOFU, Khumbulani y DANIYAN, Ilesanmi Afolabi, 2019. Statistical Analysis of Determinant Factors and Framework Development for the Optimal and Sustainable Design of Municipal Solid Waste Management Systems in the Context of Industry 4.0. *Procedia CIRP*. 1 enero 2019. Vol. 84, pp. 245-250. DOI 10.1016/j.procir.2019.04.182.
31. MOSTAFAYI DARMIAN, Sobhan, MOAZZENI, Sahar y HVATTUM, Lars Magnus, 2020. Multi-objective sustainable location-districting for the collection of municipal solid waste: Two case studies. *Computers & Industrial Engineering*. 1 diciembre 2020. Vol. 150, pp. 106965. DOI 10.1016/j.cie.2020.106965.
32. NURDIAWAN, O., PRATAMA, F. Arie, KURNIA, D. Ade, KASLANI y RAHANINGSIH, N., 2020. Optimization of Traveling Salesman Problem on Scheduling Tour Packages using Genetic Algorithms. *Journal of Physics: Conference Series*. marzo 2020. Vol. 1477, pp. 052037. DOI 10.1088/1742-6596/1477/5/052037.

33. PETRIDIS, Konstantinos y DEY, Prasanta Kumar, 2018. Measuring incineration plants' performance using combined data envelopment analysis, goal programming and mixed integer linear programming. *Annals of Operations Research*. 1 agosto 2018. Vol. 267, no. 1, pp. 467-491. DOI 10.1007/s10479-018-2809-z.
34. RIZVANOĞLU, Onur, KAYA, Serkan, ULUKAVAK, Mustafa y YEŞİLNACAR, Mehmet İrfan, 2019. Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes, through linear programming and geographic information system: a case study from Şanlıurfa, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*. 4 diciembre 2019. Vol. 192, no. 1, pp. 9. DOI 10.1007/s10661-019-7975-1.
35. ROKBANI, Nizar, KUMAR, Raghvendra, ABRAHAM, Ajith, ALIMİ, Adel M., LONG, Hoang Viet, PRIYADARSHINI, Ishaani y SON, Le Hoang, 2021. Bi-heuristic ant colony optimization-based approaches for traveling salesman problem. *Soft Computing*. 1 marzo 2021. Vol. 25, no. 5, pp. 3775-3794. DOI 10.1007/s00500-020-05406-5.
36. SARMAH, S. P., YADAV, R. y RATHORE, P., 2019. Development of Vehicle Routing model in urban Solid Waste Management system under periodic variation: A case study. *IFAC-PapersOnLine*. 1 enero 2019. Vol. 52, no. 13, pp. 1961-1965. DOI 10.1016/j.ifacol.2019.11.490.
37. SAUCEDO, Jania Astrid, MENDOZA, Abraham y ALVARADO VAZQUEZ, Maria del Rosario, 2019. Collection of Solid Waste in Municipal Areas: Urban Logistics. *Sustainability*. enero 2019. Vol. 11, no. 19, pp. 5442. DOI 10.3390/su11195442.
38. SILVA, Rodrigo Ferreira da Rocha e, 2016. *The multi-compartment vehicle routing problem in the collection of recyclable municipal solid waste*. Accepted: 2017-05-24T12:00:58Z
39. SINGH, Ajay, 2019. Solid waste management through the applications of mathematical models. *Resources, Conservation and Recycling*. 1 diciembre 2019. Vol. 151, pp. 104503. DOI 10.1016/j.resconrec.2019.104503.
40. SULEMANA, Alhassan, DONKOR, Emmanuel A., FORKUO, Eric K. y ODURO-KWARTENG, Sampson, 2018. Optimal Routing of Solid Waste Collection Trucks: A Review of Methods. *Journal of Engineering*. 9 octubre 2018. Vol. 2018, pp. e4586376. DOI 10.1155/2018/4586376.
41. TORO OCAMPO, Eliana Mirledy, CASTAÑEDA LONDOÑO, John Fredy y GALLEGO RENDÓN, Ramón Alfonso, 2020. *Introducción al problema de enrutamiento de vehículos en la logística de distribución*. en línea. Universidad Tecnológica de Pereira. [Accedido 6 julio 2022]. ISBN 978-958-722-481-8.
42. UGWU, Collins O., OZOE GWU, Chigbogu G., OZOR, Paul A., AGWU, Ndukwe y MBOHWA, C., 2021a. Waste reduction and utilization strategies

- to improve municipal solid waste management on Nigerian campuses. *Fuel Communications*. 1 diciembre 2021. Vol. 9, pp. 100025. DOI 10.1016/j.jfueco.2021.100025.
43. VECCHI, Thelma P. B., SURCO, Douglas F., CONSTANTINO, Ademir A., STEINER, Maria T. A., JORGE, Luiz M. M., RAVAGNANI, Mauro A. S. S. y PARAÍSO, Paulo R., 2016. A sequential approach for the optimization of truck routes for solid waste collection. *Process Safety and Environmental Protection*. 1 julio 2016. Vol. 102, pp. 238-250. DOI 10.1016/j.psep.2016.03.014.
44. VILLAMARÍN SANTI, Ever Antonio, 2020. *Optimización logística de las rutas de recolección de desechos sólidos en la zona urbana del Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Pastaza para la reducción del costo operativo*. en línea. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. [Accedido 14 agosto 2022]. Recuperado a partir de: <http://dspace.esepoch.edu.ec/handle/123456789/15667> Accepted: 2022-05-04T22:41:11Zpublisher: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
45. WILK, Joseph y CAVALIER, Tom M., 2012. A Genetic Algorithm for the Split Delivery Vehicle Routing Problem. en línea. 20 junio 2012. Vol. 2012. [Accedido 26 agosto 2022]. DOI 10.4236/ajor.2012.22024.
46. ZHANG, Shaoqing, MU, Dong y WANG, Chao, 2020. A Solution for the Full-Load Collection Vehicle Routing Problem With Multiple Trips and Demands: An Application in Beijing. *IEEE Access*. 2020. Vol. 8, pp. 89381-89394. DOI 10.1109/ACCESS.2020.2993316.

## ANEXOS

### Anexo 1: FORMATO DE LA FICHA DE RECOLECCION DE DATOS N°1

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO		<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS N°1</b>							
Revisión Sistemática: Técnicas de Solución para el Problema de Enrutamiento Vehicular en la Gestión de Residuos Sólidos.									
N°	Autor	Año	Título	Volumen	Número	Revista	Base de datos	Cuartil	DOI/ Enlace

### Anexo 2: FORMATO DE LA FICHA DE RECOLECCION DE DATOS N°2

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO		<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS N°2</b>							
Revisión Sistemática: Técnicas de Solución para el Problema de Enrutamiento Vehicular en la Gestión de Residuos Sólidos.									
N°	Autor	Año	Título	Palabras clave	Objetivo/ Metodología	Resultados / Conclusiones			

Anexo 3: REGISTRO DE LA FICHA DE RECOLECCION DE DATOS N°1

N°	Autor	Año	Título	Volumen	Número	Revista	Base de Datos	Cuartil	DOI / Enlace
1	Monzambe et al	2021	Optimal location of landfills and transfer stations for municipal solid waste in developing countries using non-linear programming	3	2021	Sustainable Futures	Scimedirect	-	10.1016/j.sftr.2021.100046
2	Dotoli et al	2017	A Vehicle Routing Technique for Hazardous Waste Collection	50	Jul-17	IFAC-PapersOnline	Scimedirect	Q3	10.1016/j.ifacol.2017.08.2051
3	Amal et al	2018	SGA: spatial GIS-based genetic algorithm for route optimization of municipal solid waste collection	25	Jul-2018	Environmental Science and Pollution Research	Springerlink	Q1	10.1007/s11356-018-2826-0
4	Archetti et al	2020	Optimization in multimodal freight transportation problems: A Survey	299	May-22	European Journal of Operational Research	Scimedirect	Q1	10.1016/j.ejor.2021.07.031
5	Asefi et al	2019	Mathematical modelling and heuristic approaches to the location-routing problem of a cost-effective integrated solid waste management	273	Feb-19	Annals of Operations Research	Springerlink	Q1	10.1007/s10479-018-2912-1

Nº	Autor	Año	Título	Volumen	Número	Revista	Base de Datos	Cuartil	DOI / Enlace
6	Babae et al	2019	Developing an applied algorithm for multi-trip vehicle routing problem with time windows in urban waste collection: A case study	37	Ene-19	Waste Management and Research	SAGE Journals	Q2	10.1177/0734242X18807001
7	Bányai et al	2019	Optimization of Municipal Waste Collection Routing: Impact of Industry 4.0 Technologies on Environmental Awareness and Sustainability	16	4	International Journal of Environmental Research and Public Health	MDPI - Publisher of Open Access Journals	Q1	10.3390/ijerph16040634
8	Rızvanoğlu et al	2019	Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes, through linear programming and geographic information system: a case study from Şanlıurfa, Turkey	192	9	Environmental Monitoring and Assessment	Springerlink	Q2	10.1007/s10661-019-7975-1
9	Ugwu et al	2021	Waste reduction and utilization strategies to improve municipal solid waste management on Nigerian campuses	9	Dic-21	Fuel Communications	Sciencedirect	Q1	10.1016/j.jfueco.2021.100025
10	Eren et al	2021	Safe distance-based vehicle routing problem: Medical waste collection case study in COVID-19 pandemic	157	Jul-21	Computers & Industrial Engineering	Sciencedirect	Q1	10.1016/j.cie.2021.107328

Nº	Autor	Año	Título	Volumen	Número	Revista	Base de Datos	Cuartil	DOI / Enlace
11	Marampoutis et al	2022	Multi-objective vehicle routing problem with flexible scheduling for the collection of refillable glass bottles: A case study	10	Ene-22	EURO Journal on Decision Processes	Sciencedirect	Q3	10.1016/j.ejdp.2021.100011
12	Monzambe et al,	2019	Statistical Analysis of Determinant Factors and Framework Development for the Optimal and Sustainable Design of Municipal Solid Waste Management Systems in the Context of Industry 4.0	84	May-19	Procedia CIRP	Sciencedirect	-	10.1016/j.procir.2019.04.182
13	Mostafayi et al	2020	Multi-objective sustainable location-districting for the collection of municipal solid waste: Two case studies	150	Dic-20	Computers & Industrial Engineering	Sciencedirect	Q1	10.1016/j.cie.2020.106965
14	Io Storto	2021	Effectiveness-efficiency nexus in municipal solid waste management: A non-parametric evidence-based study	131	Nov-21	Ecological Indicators	Sciencedirect	Q1	10.1016/j.ecolind.2021.108185
15	Sarmah et al	2019	Development of Vehicle Routing model in urban Solid Waste Management system under periodic variation: A case study	52	13	IFAC-PapersOnLine	Sciencedirect	Q3	10.1016/j.ifacol.2019.11.490
16	Sulemana et al	2018	Optimal Routing of Solid Waste Collection Trucks: A Review of Methods	2018	Oct-18	Journal of Food Engineering	Hindawi	Q1	10.1155/2018/4586376

Nº	Autor	Año	Título	Volumen	Número	Revista	Base de Datos	Cuartil	DOI / Enlace
17	Höke et al	2021	Municipal solid waste transfer station planning through vehicle routing problem-based scenario analysis	39	1	Waste Management & Research	SAGE Journals	Q2	10.1177/0734242X20966643
18	Grakova et al	2018	Libro: Waste Collection Vehicle Routing Problem on HPC Infrastructure	serie: Lecture Notes in Computer Science	2018	-	Editorial: Springer International Publishing	-	10.1007/978-3-319-99954-8_23
19	Silva	2016	The multi-compartment vehicle routing problem in the collection of recyclable municipal solid waste	-	2016	-	Repositorio Instituto Universitario de Lisboa	-	<a href="https://repositorio.iscte-iul.pt/handle/10071/13537">https://repositorio.iscte-iul.pt/handle/10071/13537</a>
20	Zhang et al	2020	A Solution for the Full-Load Collection Vehicle Routing Problem With Multiple Trips and Demands: An Application in Beijing	8	2020	IEEE Access	Advancing Technology for Humanity	Q1	10.1109/ACCESS.2020.2993316
21	Hrabec et al	2019	Quantity-predictive vehicle routing problem for smart waste collection	76	2022	Chemical Engineering Transactions	TBU Publications Repository of TBU Publications	Q3	10.3303/CET1976209
22	Anwar et al.	2018	Optimization of solid waste management in rural villages of developing countries	20	3	Clean Technologies and Environmental Policy	Springerlink	Q1	<a href="https://doi.org/10.1007/s10098-018-1485-7">https://doi.org/10.1007/s10098-018-1485-7</a>

Nº	Autor	Año	Título	Volumen	Número	Revista	Base de Datos	Cuartil	DOI / Enlace
23	Cadena	2018	Problemas de optimización en la gestión logística de distribución: una revisión de literatura de la solución del problema de ruteo de vehículos - VRP	-	2018	-	Repositorio Universidad Pontificia Bolivariana	-	<a href="https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/6214/digital_37690.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y">https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/6214/digital_37690.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y</a>
24	Correa	2018	Propuesta de mejora del sistema de recolección de residuos sólidos urbanos en el distrito de Chiclayo para reducir los impactos ambientales	-	2018	-	Repositorio Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo	-	<a href="http://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/1142">http://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/1142</a>
25	Henao et al.	2020	Formulación y solución de un problema de enrutamiento de vehículos periódico para la distribución de alimentos perecederos en la zona Sur – Oriente de la ciudad de Medellín	-	2020	-	Repositorio Institucional Universidad de Antioquia	-	<a href="http://hdl.handle.net/10495/16023">http://hdl.handle.net/10495/16023</a>
26	Hermitaño	2019	Optimización De Rutas Para La Recolección De Residuos Sólidos Con Uso De Contenedores Aplicando El Algoritmo Colonia De Hormigas En La Ciudad De Huaraz	-	2019	-	Repositorio Santiago Antúnez De Mayolo	-	<a href="http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/4056/T033_45951595_T.pdf">http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/4056/T033_45951595_T.pdf</a>

Nº	Autor	Año	Título	Volumen	Número	Revista	Base de Datos	Cuartil	DOI / Enlace
27	Hoyos	2020	El problema de enrutamiento de vehículos: caso aplicado a la distribución de un producto en una agroavícola del Valle del Cauca	-	2020	-	Repositorio de la Universidad del Valle	-	<a href="https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/21456/EI%20problema%20de%20enrutamiento%20de%20veh%C3%ADculos%20caso%20aplicado%20a%20la%20distribuci%C3%B3n%20de%20un%20producto%20en%20una%20Agro%20Av%C3%ADcola%20del.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y">https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/21456/EI%20problema%20de%20enrutamiento%20de%20veh%C3%ADculos%20caso%20aplicado%20a%20la%20distribuci%C3%B3n%20de%20un%20producto%20en%20una%20Agro%20Av%C3%ADcola%20del.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y</a>
28	Imbaquingo	2018	Diseño de un modelo matemático para determinar la cantidad óptima de contenedores de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Ibarra	-	2018	-	Repositorio de Digital Universidad Técnica del Norte	-	<a href="http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8359">http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8359</a>
29	Konstantakopoulos et al.	2022	Vehicle routing problem and related algorithms for logistics distribution: a literature review and classification	22	3	Oper Res Int J	Springerlink	Q1	10.1007/s12351-020-00600-7
30	Koushik et al.	2019	A comprehensive optimization model for integrated solid waste management system: A case study	24	2	Korean Society of Environmental Engineering	KoreaScience	-	10.4491/eer.2018.132

Nº	Autor	Año	Título	Volumen	Número	Revista	Base de Datos	Cuartil	DOI / Enlace
31	León, et al.	2019	Mejoramiento del sistema de recojo de residuos sólidos en el distrito de San Jerónimo – Cusco, 2018.	-	2019	-	Repositorio Digital Universidad Andina del Cusco	-	<a href="http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/2791">http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/2791</a>
32	Montalban et al.	2018	Desarrollo De Un Planificador De Rutas Para Recojo De Desechos Sólidos Utilizando Algoritmo Genéticos	-	Jul-05	-	Repositorio de la Universidad del Señor de Sipan	-	<a href="http://repositorio.us.edu.pe/handle/20.500.12802/5226">http://repositorio.us.edu.pe/handle/20.500.12802/5226</a>
33	Petridis, et al.	2018	Measuring incineration plants' performance using combined data envelopment analysis, goal programming and mixed integer linear programming	267	1	Ann Oper Res	Springerlink	Q1	10.1007/s10479-018-2809-z
34	Toro et al.	2020	Introducción al problema de enrutamiento de vehículos en la logística de distribución	-	-	Universidad Tecnológica de Pereira	-	-	<a href="http://hdl.handle.net/11059/13138">http://hdl.handle.net/11059/13138</a>
35	Villamarín et al.	2020	Optimización logística de las rutas de recolección de desechos sólidos en la zona urbana del Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Pastaza para la reducción del costo operativo	2020	-	-	Repositorio Escuela Superior Politécnica De Chimborazo	-	<a href="http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/15667">http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/15667</a>

Nº	Autor	Año	Título	Volumen	Número	Revista	Base de Datos	Cuartil	DOI / Enlace
36	Saucedo et al.	2019	Collection of Solid Waste in Municipal Areas: Urban Logistics	11	19	-	MDPI - Publisher of Open Access Journals	q1	10.3390/su11195442
37	BANCO MUNDIAL	2018	Los desechos: un análisis actualizado del futuro de la gestión de los desechos sólidos	Set-20	Banco Mundial	Banco Mundial	-	-	<a href="https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management">https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management</a>
38	Guerrero et al.	2013	Solid waste management challenges for cities in developing countries	28	2	Waste Management	Sciencedirect	-	10.1016/j.wasman.2012.09.008
39	Hernandez et al	2014	Metodología de la Investigación	6	Abr-14	-	-	-	-
40	Hoyos	2011	Evaluación del impacto de las actividades de Responsabilidad Social Empresarial-RSE en los usuarios de las cadenas de supermercados de Bogotá desde una perspectiva de construcción de marca (Brand Equity)	-	Set-11	-	Repositorio de la Universidad Nacional de Colombia	-	<a href="https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/8050">https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/8050</a>

Nº	Autor	Año	Título	Volumen	Número	Revista	Base de Datos	Cuartil	DOI / Enlace
41	Kumar et al	2010	Genetic Algorithm: Review and Application	-	Dic-10	-	SSRN	-	10.2139/ssrn.3529843
42	Nurdiawan et al	2020	Optimization of Traveling Salesman Problem on Scheduling Tour Packages using Genetic Algorithms	1477	Mar-20	Journal of Physics: Serie de conferencias	IOPscience	-	10.1088/1742-6596/1477/5/052037
43	Rokbani et al	2021	Bi-heuristic ant colony optimization-based approaches for traveling salesman problem	25	5	Soft Computing	Springerlink	Q2	10.1007/s00500-020-05406-5
44	Singh	2019	Solid waste management through the applications of mathematical models	151	Dic-19	Resources, Conservation and Recycling	Scimedirect	Q1	10.1016/j.resconrec.2019.104503
45	Vecchi et al	2016	A sequential approach for the optimization of truck routes for solid waste collection	102	Jul-16	Process Safety and Environmental Protection	Scimedirect	Q1	10.1016/j.psep.2016.03.014
46	Wilk et al	2012	A Genetic Algorithm for the Split Delivery Vehicle Routing Problem	2	Jun-12	American Journal of Operations Research	Scientific Research Publishing	-	10.4236/ajor.2012.22024

Anexo 4: REGISTRO DE LA FICHA DE RECOLECCION DE DATOS N°2

Nº	Autor	Año	Título	Palabras Clave	Objetivo/ Metodología	Resultados / Conclusiones
1	Monzambe et al	2021	Optimal location of landfills and transfer stations for municipal solid waste in developing countries using non-linear programming	Waste management system, Binary optimization, Mathematical programming, Non-linear programming	En el presente estudio se aplicó el modelo matemático entero mixto no lineal, cuyo objetivo fue desarrollar un modelo matemático para la optimización del sistema de transporte de RSU.	Los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian la existencia de un modelo que reduce los costos por unidad de recolección de RSU, la que se llevó a cabo en Grecia. Una de las novedades de este estudio es que dicho modelo puede ser aplicado en situaciones en las que no existe un determinado número, ni ubicación de las estaciones de transferencia.
2	Dotoli et al	2017	A Vehicle Routing Technique for Hazardous Waste Collection	Hazardous Waste, Vehicle Routing, Valorization of plastic and municipal solid wastes, Optimization Scheduling, Organic solid	Con el objetivo de minimizar la distancia recorrida por los vehículos de enrutamiento, en el presente informe se propone la aplicación de la técnica de la programación con múltiples ventanas de tiempo, lo que permitirá restringirla su recorrido. Para su evaluación se aplica en un estudio de caso real.	Es necesario contar con dos rutas para abastecer todas las demandas y no incurrir en horarios adicionales. Si bien el estudio se aplica al transporte de un buque tanque, dicho resultado también puede aplicarse a camiones que tengan compartimientos, pudiendo decidir entre una ruta por su valor objetivo más bajo u otra que permita la visita a más clientes. Finalmente, se verifica que dicho modelo se caracteriza por haber identificado 59 variables y 1035 restricciones
3	Amal et al	2018	SGA: spatial GIS-based genetic algorithm for route optimization of municipal solid waste collection	Solid waste collection, Routing problem, Genetic algorithm/ Heuristics	Se propone un nuevo algoritmo genético basado en el Sistema de Información Geográfica Espacial (SIG) para optimizar las rutas de recolección de residuos sólidos. Este método emplea la versión alterada del algoritmo original de Dijkstra en SIG con el fin de crear soluciones eficaces al enrutamiento vehicular. Para validar dicha metodología se realiza un estudio en la ciudad de Sfax en Túnez	La aplicación del algoritmo genético en el presente estudio ha verificado que se ejecuta 10 interacciones y 30 soluciones para diferentes poblaciones. Este estudio demuestra que el método aplicado es mejor que otros algoritmos, logrando 4,28 h menos de recorrido en comparación con las rutas prácticas y es 5 minutos menos que el de la ruta optimizada de por ArcGIS, y este es a su vez menor en 4.21h que las rutas prácticas, pero los tiempos totales con ambos métodos siguen siendo mayores en comparación al algoritmo genético.

Nº	Autor	Año	Titulo	Palabras Clave	Objetivo/ Metodología	Resultados / Conclusiones
4	Archetti et al	2020	Optimization in multimodal freight transportation problems: A Survey	Freight transportation, Multimodal transportation	El objetivo es la de hacer una revisión sistemática y profunda en la bibliografía concerniente al modelo de optimización para el transporte multimodal, lo que nos permitirá explorar los distintos problemas y desafíos que definen cada una de sus combinaciones.	La metodología de optimización intermodal en base a una red vial real en los EEUU demuestra que una solución intermodal es más rápida, menos costosa y más firme en comparación con transportes unimodales que son los más usados por los transportistas. Además, se demuestra que una red vial, correctamente diseñada para la multimodalidad, favorece a la reducción de costo y buenas prestaciones.
5	Asefi et al	2019	Mathematical modelling and heuristic approaches to the location-routing problem of a cost-effective integrated solid waste management	Municipal solid waste, Location-routing problema, Gestión integrada de residuos sólidos, Mixed-integer linear programming	La investigación aborda el problema del enrutamiento aplicando la programación lineal de enteros mixtos (MILP) para minimizar el costo del sistema de residuos sólidos municipales que incluye el transporte y las instalaciones y para resolver la rigidez polinomial-tiempo no determinista del problema, se plantea una heurística paso a paso siguiendo dos enfoques metaheurísticos: (i) búsqueda de vecindad variable (VNS) y (ii) VNS híbrido y un algoritmo de coincidencia. recocido simulado (VNS SA). Finalmente, el modelo MILP presentado se implementa en el entorno CPLEX para evaluar la efectividad de los algoritmos propuestos. Se aplica un estudio caso aplicado a la ciudad de Teherán, Irán.	Los resultados demuestran que, los algoritmos postulados consiguen solucionar de forma efectiva el problema dentro del tiempo de computación práctica, el método híbrido planteado eficientemente alcanzo soluciones casi óptimas con brechas de < 4%, en comparación con los resultados exactos. En comparación con el precio vigente del sistema ISWM existente en el área de estudio, el modelo MILP sugerido y los métodos heurísticos recomendados aminora efectivamente los costos totales en un 20-22%.

Nº	Autor	Año	Título	Palabras Clave	Objetivo/ Metodología	Resultados / Conclusiones
6	Babae et al	2019	Developing an applied algorithm for multi-trip vehicle routing problem with time windows in urban waste collection: A case study	Vehicle routing problem, urban waste collection, time windows , CPLEX solver	El objetivo es minimizar el costo total, incluido el costo de recorrido, el costo de empleo del vehículo y la penalización de salida de las ventanas de tiempo permitidas y se aplica un modelo matemático robusto para resolver el problema de enrutamiento de arco capacitado (CARP) particular de la recolección de residuos urbanos en condiciones inciertas. Resolvieron el problema mediante el desarrollo de un recocido simulado híbrido y pudieron demostrar la efectividad de su algoritmo propuesto en comparación con el solucionador CPLEX.	Los resultados computacionales muestran que el algoritmo propuesto tiene un gran rendimiento en un corto tiempo computacional en comparación con el solucionador CPLEX. Finalmente, para demostrar la aplicabilidad del modelo, se analiza un estudio de caso en Irán y se presentan buenas políticas óptimas.
7	Bányai et al	2019	Optimization of Municipal Waste Collection Routing: Impact of Industry 4.0 Technologies on Environmental Awareness and Sustainability	waste collection, heuristic optimization , logistics process	El modelo matemático para la recolección de residuos incluye problemas de enrutamiento, asignación y programación, para minimizar el costo total de operación, aumentar la confiabilidad teniendo en cuenta indicadores ambientales integrales que impactan en la salud pública. Se describe un algoritmo binario, el análisis de escenarios valida el modelo.	Los resultados de este estudio de simulación muestran que el análisis y la optimización de diferentes escenarios del sistema de gestión de residuos aumentan su rentabilidad, fiabilidad y rendimiento. Se logra un modelado matemático y la optimización de los procesos de recolección basado en la optimización en algoritmos binarios.
8	Rizvanoğlu et al	2019	Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes, through linear programming and geographic information system: a case study from Şanlıurfa, Turkey	Vehicle routing, Municipal solid waste, Optimization Linear programming model, Collection and transportation routes, Network analysis	Se examinó el enrutamiento y la programación de la recolección de residuos sólidos para el barrio veysel Karani del distrito de Haliliye en la provincia de Şanlıurfa. Luego se estableció un modelo de programación lineal para la optimización.	La programación lineal utilizado en este estudio dan una solución óptima para problemas de cierto tamaño, si la medida de las dimensiones del problema crece, el modelo de programación lineal puede volverse inadecuado.

Nº	Autor	Año	Título	Palabras Clave	Objetivo/ Metodología	Resultados / Conclusiones
9	Ugwu et al	2021	Waste reduction and utilization strategies to improve municipal solid waste management on Nigerian campuses	Solid waste utilization , Municipal solid waste management, Nigerian campuses Covid-19 pandemic, Organic waste	El propósito es discutir técnicas de reducción y recuperación de desechos, evaluar y comparar su adopción entre instituciones de educación superior en diferentes partes del mundo, con el fin de proponer mejores estrategias para el manejo de desechos sólidos a las universidades nigerianas.	Los componentes orgánicos y combustibles pueden generar aproximadamente un tercio de las necesidades de electricidad de la universidad generadora. Se requerirá mucha inversión para realizar todo el potencial de los residuos generados en el campus. Cualquier estrategia de gestión de residuos a adoptar tiene que depender estrictamente de la fuente de residuos, sus características y composición.
10	Eren et al	2021	Safe distance-based vehicle routing problem: Medical waste collection case study in COVID-19 pandemic	Medical waste, Traveling salesman problem, Transportation of medical waste	El valor de la distancia puede ser sustituido por otro factor como el costo, el tiempo, etc. para diferentes tipos de problemas, y es obligatorio visitar todos los puntos, pero solo una vez. TSP fue formulado por Karl Menger en 1930 Actualmente, los investigadores de todo el mundo todavía utilizan este problema para demostrar la superioridad de su método de optimización sobre otros	El modelo propuesto ofrece la oportunidad de usar la prioridad de distancia y de puntaje de seguridad. Así, la seguridad es la prioridad para el transporte de residuos sanitarios para distancias más cortas, es prioritario. Los resultados muestran que los valores que obtenidos son óptimos que otras soluciones.
11	Marampoutis et al	2022	Multi-objective vehicle routing problem with flexible scheduling for the collection of refillable glass bottles: A case study	Vehicle routing problema, Recogida de residuos, Optimización multiobjetivo Programación lineal entera, Reverse logistic	La investigación se centra en la fase a nivel operativo. abarca la recolección de un grupo de clientes programando rutas con un solo vehículo. La duración de la recopilación/enrutamiento es a menudo el objetivo para minimizar, pero se podrían utilizar otros criterios. Se tendrá prioridad al costo, impacto ambiental del transporte, el tiempo de operación y la satisfacción del cliente, medido positivamente si un cliente es visitado poco después de que lo necesita.	Los resultados demuestran los impactos de las reglas de prioridad sobre la solución obtenida y se sugieren más indicadores para analizar con precisión la calidad de la solución en términos de costo e impacto ambiental. El modelo y el programa propuestos contribuirán a tomar decisiones acordes a la planificación y programación de las rutas de los vehículos para la recolección de botellas de vidrio recargables, especialmente en áreas urbanas.

Nº	Autor	Año	Título	Palabras Clave	Objetivo/ Metodología	Resultados / Conclusiones
12	Monzambe et al,	2019	Statistical Analysis of Determinant Factors and Framework Development for the Optimal and Sustainable Design of Municipal Solid Waste Management Systems in the Context of Industry 4.0	Waste, System Design, Optimization, Industry	El análisis de regresión lineal y las técnicas de correlación son las técnicas empleadas para determinar las relaciones; y Microsoft Excel 2016 es el software usado para el análisis de datos considerando un estudio de caso de las provincias de Sudáfrica. Esta investigación tiene como finalidad diseñar sistemas que usen datos en tiempo real que favorezcan a la toma de decisiones descentralizadas para la recolección, el tratamiento y la eliminación óptimos de los desechos.	La implementación del concepto de recuperación y reciclaje equivale a la realización de procesos inversos que permitan la reintroducción de materiales de desecho en el sistema económico. Estos procesos son la base de la logística inversa. Los resultados mostraron que los factores determinantes que inciden en estos parámetros son la contribución al Producto Interno Bruto de la ciudad y su densidad de población.
13	Mostafayi et al	2020	Multi-objective sustainable location-districting for the collection of municipal solid waste: Two case studies	Multi-objective optimization, Best-worst method	La optimización multiobjetivo en la gestión de residuos, dividieron áreas urbanas usando un modelo de programación de enteros mixtos (MIP), el objetivo es minimizar las desviaciones de los tamaños de los distritos del valor medio; un problema de enrutamiento de vehículos para optimizar la recolección de residuos sólidos con una nueva tecnología se aplica en una ciudad italiana. Su enfoque condujo a la reducción de los costos totales y los efectos ambientales adversos.	Las tres funciones objetivas empeoran al disminuir el parámetro LMÁXIMO porque las restricciones se vuelven estrictas. En el estudio se logra una alta sensibilidad de las soluciones a diferentes WMÁXIMO valores. Cuando WMÁXIMO disminuye y aumenta, se mejora el equilibrio de la carga de trabajo. La sensibilidad a los cambios de varía para diferentes valores de WMÁXIMO. Según el análisis, la heurística propuesta tiene un comportamiento lógico en la generación de soluciones finales y puede ser utilizada como una nueva herramienta de desarrollo para problemas de gestión de RSU.

Nº	Autor	Año	Titulo	Palabras Clave	Objetivo/ Metodología	Resultados / Conclusiones
14	Io Storto	2021	Effectiveness-efficiency nexus in municipal solid waste management: A non-parametric evidence-based study	Municipal solid waste, Random parameters Tobit regression, Data envelopment analysis, Effectiveness-efficiency nexus,	El objetivo de este documento es llenar la brecha de conocimiento relativa al nexo eficacia-eficiencia en la evaluación del desempeño de la gestión de RSU. El estudio se organizó en dos fases. En la primera fase, las medidas para los tres indicadores de eficiencia se calcularon aplicando el Análisis envolvente el Tobit con parámetros aleatorios para examinar el nexo unidireccional efectividad-eficiencia, considerando las heterogeneidades de ambos municipios y las variables específicas del contexto.	Los resultados indican que la entropía es importante en la determinación del rendimiento de la recolección separada de fracciones de residuos. Los valores de media y desviación estándar de este parámetro aleatorio son iguales a 0.19306 y 0.09379. Esto implica que un aumento de la Entropía. La medida está asociada a una subida de la tasa de la fracción clasificada de los residuos para casi todos los municipios (98%). Así, la eficacia del servicio de RSU puede mejorar si el esfuerzo y los recursos del municipio se destinan por igual a gestionar todas las fracciones de residuos clasificadas, en lugar de privilegiar una o algunas de ellas.

Nº	Autor	Año	Titulo	Palabras Clave	Objetivo/ Metodología	Resultados / Conclusiones
15	Sarmah et al	2019	Development of Vehicle Routing model in urban Solid Waste Management system under periodic variation: A case study	Solid waste, vehicle routing, GIS, Wright logistics	Con este artículo se propone la mejor solución para el transporte de rsu para el dominio definido. se formula un modelo de minimización de costos sobre la base de la matriz de ahorro de costos. el algoritmo de clark y wright se aplica para encontrar la ruta óptima del vehículo. las herramientas de análisis de red disponible en arcgis se utilizaron para encontrar la ruta optimizada para la recolección de residuos sólidos teniendo en cuenta todos los parámetros requeridos. el estudio también demuestra las importantes reducciones de costos y carbono que se pueden obtener debido a la ruta adecuada del vehículo	Los resultados indican hasta un 22% de minimización de longitud en las rutas. la solución eficiente para el problema de optimización de intervalo que discutió sobre la función de valor de intervalo y sus propiedades. propusieron un modelo de asignación de instalaciones de criterios múltiples de consumo de combustible para las instalaciones de mswm de la región de macedonia central en el norte de Grecia.

Nº	Autor	Año	Titulo	Palabras Clave	Objetivo/ Metodología	Resultados / Conclusiones
16	Sulemana et al	2018	Optimal Routing of Solid Waste Collection Trucks: A Review of Methods	solid waste collection systems, vehicle routing problem, application of GIS, optimal system designs	Este trabajo revisa estudios en el área de aplicación de sistemas de optimización en el proceso de recolección de residuos sólidos con particular interés en sistemas que se basan en programación matemática y sistemas de información geográfica (SIG) La metodología empleada fue la búsqueda bibliográfica en la que se utilizaron palabras clave como sistemas de recolección de residuos sólidos, problema de enrutamiento de vehículos, aplicación de SIG, diseños de sistemas óptimos y análisis de redes. Se revisó el texto completo de cada artículo y como resultado se seleccionaron 60 artículos relevantes para el estudio.	La ruta óptima de los camiones recolectores de residuos sólidos indica el uso de dos enfoques principales: programación matemática y sig. se aplican principalmente para garantizar la conservación de los recursos mediante la reducción de la distancia, el tiempo y los costos operativos y de mantenimiento. las soluciones parciales o casi óptimas se derivan cuando los sistemas de enrutamiento desarrollados a partir de programas matemáticos se implementan en la realidad.

Nº	Autor	Año	Titulo	Palabras Clave	Objetivo/ Metodología	Resultados / Conclusiones
17	Höke et al	2021	Municipal solid waste transfer station planning through vehicle routing problem-based scenario analysis	Municipal solid waste, vehicle routing problem, geographic information system , solid waste collection	Esta investigación tiene como objetivo desarrollar un enfoque de modelado espacial para investigar la ubicación óptima y los impactos económicos de los msw ts. en la revisión bibliográfica sobre la ubicación de ts consta de dos partes separadas: un análisis espacial basado en SIG; y una optimización matemática externa. se utilizó gis para determinar la idoneidad del terreno y la determinación de distancias entre todos los nodos, como garajes, fuentes de desechos y ts. se llevó a cabo la optimización a través de modelos matemáticos para identificar las rutas óptimas que minimizan el tiempo total de servicio y, por lo tanto, los sitios y el número de ts óptimos.	Los resultados demostraron que la adición de st no es económicamente factible en el área de estudio debido a la flota de vehículos pequeños de (ocho vehículos de recolección), la proximidad del vertedero a áreas con alta densidad de desechos y la recolección a nivel de distrito. por otro lado, la adición de ts resultó en un menor consumo de combustible que puede ayudar a reducir la contaminación del aire inducida por el combustible.

Nº	Autor	Año	Titulo	Palabras Clave	Objetivo/ Metodología	Resultados / Conclusiones
18	Grakova et al	2018	Libro: Waste Collection Vehicle Routing Problem on HPC Infrastructure	Vehicle routing problem, Waste collection, Recycling	El objetivo de este artículo es adaptar y conectar el algoritmo ACO en la infraestructura HPC para resolver el problema de la recolección de residuos. Se uso un problema de enrutamiento de vehículos (VRP) para resolver el problema de la recolección de residuos. Uno de los enfoques sobre cómo resolver este problema es utilizar algoritmos de optimización. El algoritmo metaheurístico de optimización de colonias de hormigas (ACO) se utilizó para resolver el problema en este artículo. Este algoritmo fue adaptado para un conjunto de datos reales.	Los resultados mostraron que la paralelización del algoritmo es beneficiosa y reúne con la potencia de supercomputación la posibilidad de resolver problemas más grandes de este tipo. Se requiere ejecutar el algoritmo con diferentes configuraciones para obtener los mejores resultados. Se han utilizado varios parámetros de configuración para lograr los resultados óptimos.
19	Silva	2016	The multi-compartment vehicle routing problem in the collection of recyclable municipal solid waste	Vehicle routing, Waste management, Multi-compartment vehicles, Transportation management.	El trabajo tiene como objetivo evaluar el impacto en la distancia recorrida para visitar los puntos de recogida bajo la responsabilidad, al utilizar vehículos de múltiples compartimentos, en lugar de utilizar los de un solo compartimento. se desarrolló un modelo híbrido que primero selecciona qué puntos de recogida de la red existente merece la pena visitar con vehículos multicompartimento, y luego implementa una heurística para agrupar y enrutar esos puntos de recogida.	El modelo propuesto se aplicó a una región específica del sistema valorsul, y los resultados sugieren que el uso de vehículos con múltiples compartimentos es más provechoso (en términos de distancia recorrida) que el uso de vehículos con uno solo compartimento.

Nº	Autor	Año	Titulo	Palabras Clave	Objetivo/ Metodología	Resultados / Conclusiones
20	Zhang et al	2020	A Solution for the Full-Load Collection Vehicle Routing Problem With Multiple Trips and Demands: An Application in Beijing	Solids, Vehicle routing, Heuristic algorithms	El objetivo principal de este estudio es la de minimizar el número de vehículos de recogida y el objetivo secundario es minimizar el tiempo total de viaje. El Par-SAA es un procedimiento de construcción paralelo para el enfoque de mejora de rutas SAA en el que una solución inicial es el punto de partida para buscar soluciones mejoradas.	Al aplicarse el modelo y el algoritmo a un problema CVRPGF real en el distrito Xuanwu de Beijing, el NV necesario se reduce en un 30% y el tiempo total de viaje se reduce en un 12%. Por lo tanto, se demuestra la efectividad del Par-SAA, y la solución propuesta tiene un valor práctico en China.
21	Hrabec et al	2019	Quantity-predictive vehicle routing problem for smart waste collection	Vehicle routing, smart waste collection	El objetivo del estudio es optimizar la planificación dinámica en los horarios diarios de los camiones de basura con respecto a la minimización de los costos de transporte que también refleje un impacto ambiental positivo presentado por el ahorro en la distancia de transporte / enrutamiento. el modelo formulado como un problema de enrutamiento de vehículos aplicado en la recolección de desechos, donde el tomador de decisiones conoce el nivel actual de llenado de los contenedores. considerando que cada contenedor está equipado con un sensor que mide su nivel de residuos, y esta información se envía al planificador en ciertos intervalos.	El modelo se implementó en el programa de optimización ampl usando solver cplex y se resolvió para una brecha de optimización. la investigación presentó un nuevo enfoque de simulación que tiene el potencial de aportar un nuevo punto de vista a los modernos sistemas inteligentes de recolección de residuos que utilizan tecnologías de gestión inteligente para este estudio el uso de contenedores equipados con sensores y tecnología inalámbrica.

Nº	Autor	Año	Titulo	Palabras Clave	Objetivo/ Metodología	Resultados / Conclusiones
22	Anwar et al.	2018	Optimization of solid waste management in rural villages of developing countries	Municipal solid waste Cost optimization model Centralized waste management system Decentralized waste management system	El objetivo de este estudio es proporcionar un modelo de costo óptimo para la gestión de RSU para las aldeas rurales egipcias, que incorpora el concepto de configuración del sistema y sistema de tratamiento de residuos. El modelo propuesto se optimizará maximizando el beneficio del sistema de gestión de RSU utilizando programación de enteros mixtos. La mejor ubicación para la instalación de tratamiento se selecciona de las ubicaciones candidatas dadas que maximizan el beneficio neto.	Se demostró el cálculo de costos respectivo para cada escenario (bajo las tres configuraciones (centralizada, agrupada y descentralizada). En términos de tipo de tratamiento, mostró un rendimiento moderado en términos de costo de capital en las tres configuraciones, Sin embargo, para el costo de transporte, todos los tratamientos tuvieron un rendimiento similar en configuraciones centralizadas y agrupadas. Se observó una diferencia significativa entre estas dos configuraciones frente a la configuración descentralizada. Esto se debe principalmente a la dispersión de las instalaciones de tratamiento descentralizadas donde los residuos pueden recogerse y transferirse a la instalación disponible más cercana, donde el punto de generación de residuos está más cerca del punto de eliminación de residuos.
23	Cadena	2018	Problemas de optimización en la gestión logística de distribución: una revisión de literatura de la solución del problema de ruteo de vehículos - VRP	VPR, Optimization, distribution logistics, VRPTW, VRPSD, VRPPD, VRPB, VRPSST, DVRP literature review, heuristics, metaheuristics, exact methods, sector, logistic management.	Explorar un modelo cuantitativo desarrollado para resolver el problema de enrutamiento de vehículos (vrp) en el contexto de la gestión logística de distribución. se toma en consideración una revisión de literatura para la aplicación de la estructura y algoritmos de optimización vrp, generando así discusión, análisis y razonamiento crítico previo al estudio.	Una de las contribuciones más importantes del estudio de operaciones a la gestión y operaciones de la logística del transporte es el uso de técnicas analíticas avanzadas similares a situaciones reales para tomar decisiones dentro de una organización.

Nº	Autor	Año	Título	Palabras Clave	Objetivo/ Metodología	Resultados / Conclusiones
24	Correa	2018	Propuesta de mejora del sistema de recolección de residuos sólidos urbanos en el distrito de Chiclayo para reducir los impactos ambientales	Residuos Sólidos, servicio de recolección, Diseño de Rutas e impacto ambiental	El objetivo general es proponer mejoras al sistema de recolección de residuos sólidos municipales del distrito de Chiclayo para mitigar su impacto ambiental y brindar soluciones a los problemas que enfrenta este servicio. Se propuso un nuevo diseño de rutas de recolección utilizando metodología de sistemas de información para una mejor cobertura del área (GIS).	Se rediseñó cada ruta analizada en tres escenarios diferentes. Las modificaciones a los planes de recolección, métodos de recolección y/o equipos utilizados podrían ahorrar hasta un 50% del tiempo original y ahorrar personal. Un análisis de costo-beneficio mostró $1.09 > 1$ . En aras de la interpretación, podemos decir que, por cada sol invertido, obtenemos 0,09 soles. Así mismo, los beneficios medioambientales, los ahorros en tiempo y viajes están asociados con ahorros en emisiones de CO <sub>2</sub> y consumo de combustible.
25	Henao et al.	2020	Formulación y solución de un problema de enrutamiento de vehículos periódico para la distribución de alimentos perecederos en la zona Sur – Oriente de la ciudad de Medellín	VRP Periódico, Formulación Matemática, Optimización Combinatoria, Distribución	El objetivo principal de la investigación fue formular y resolver el problema de enrutamiento del transporte para la repartición de alimentos perecederos en la zona este-sur de la ciudad de Medellín.	Cada vehículo tiene una capacidad de movilización semanal de 960 unidades en grd. lo anterior se relaciona con 160 grd por visita 6 días a la semana. para nuestro caso de estudio, esa capacidad es del 20%. en otras palabras, el vehículo utiliza el 80% (768 grd) de su capacidad. capacidad semanal para crear brechas para acomodar las fluctuaciones de la demanda relacionadas con eventos no considerados por los clientes.
26	Hermitaño	2019	Optimización de rutas para la recolección de residuos sólidos con uso de contenedores aplicando el algoritmo colonia de hormigas en la ciudad de Huaraz	Ruta de vehículos, residuos sólidos, algoritmo de colonia de hormigas	El objetivo es implementar un programa informático para evaluar las distancias de recolección de residuos generados a partir de planes de ruta y diseñar rutas de recolección de residuos con la ayuda de:Contenedor de la ciudad de Huaraz usando lenguaje de programación Máuser IV 2019.	Para solucionar el problema de recolección de residuos sólidos mediante contenedores se adaptó un modelo matemático de acuerdo al VRP y además se requiere la siguiente información de ubicación de rellenos sanitarios y contenedores y sus ubicaciones utilizando el programa informático AUTOCAD 2017 hizo.

Nº	Autor	Año	Título	Palabras Clave	Objetivo/ Metodología	Resultados / Conclusiones
27	Hoyos	2020	El problema de enrutamiento de vehículos: caso aplicado a la distribución de un producto en una agro avícola del Valle del Cauca	Ruteo, Sector transporte, Distribución, Heurística, Logística, Agroavícola.	El objetivo es diseñar un modelo de enrutamiento que minimice la distancia de viaje del vehículo en la distribución de productos en la granja avícola del Valle del Cauca.	Se usan técnicas exactas como algoritmos que proporcionan soluciones óptimas, pero no puede implementarse para resolver problemas complejos o con gran número de variables.
28	Imbaquingo	2018	Diseño de un modelo matemático para determinar la cantidad óptima de contenedores de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Ibarra	-	Utilizando un lenguaje de programación y herramientas GIS de un sistema de información geográfica, diseñamos un modelo matemático que nos permite determinar la ubicación óptima de los contenedores de RSU y determinar el número óptimo de contenedores a distribuir en las áreas urbanas de una ciudad.	Debido a que la cantidad de residuos generados en cada región ya está controlada, está disponible solo para los recolectores que lo necesitan, y debido a que se llevan estadísticas sobre la cantidad de residuos que pueden terminar en los rellenos sanitarios, la calidad de la recolección de residuos está mejorando.
29	Konstantakopoulos et al.	2022	Vehicle routing problem and related algorithms for logistics distribution: a literature review and classification	Vehicle routing problem VRP Freight transportation Logistics distribution Literature review Algorithms	Minimizar los costos totales de distribución	El artículo expone los logros cuantitativos y cualitativos de la revisión de la literatura y discute las publicaciones científicas con un impacto significativo en la comunidad investigadora. este artículo presenta una metodología para clasificar las múltiples variantes de vrp relacionadas con el transporte de carga, que la mayoría de las empresas de logística y distribución enfrentan en sus operaciones diarias, así como los algoritmos que resuelven los diversos problemas.

Nº	Autor	Año	Título	Palabras Clave	Objetivo/ Metodología	Resultados / Conclusiones
30	Koushik et al.	2019	A comprehensive optimization model for integrated solid waste management system: A case study	Kolkata Municipal Corporation (KMC); Linear programming (LP); Municipal solid waste (MSW); Optimization; Solid waste management (SWM)	El informe de la comisión de planificación incluye así las plantas de incineración, pirólisis, gasificación de residuos a energía como opciones tecnológicas para gestionar los RSU para ciudades con mayor población de 1 millón.	El costo total de SWM es Rs. 2.288.205/d y el costo total de operación y mantenimiento (incluido el costo del terreno, el costo de construcción) de las plantas de tratamiento de desechos (a saber, clasificador, planta de compostaje, incinerador) es de Rs. 1.168.935,4/d para el Caso 1. Si bien el costo del tratamiento de residuos aún es alto, se debe apreciar que las plantas de tratamiento son responsables del 66% de la reducción de residuos. Una cantidad tan grande de reducción de residuos aumenta la vida útil de los vertederos y ahorra tierras.
31	León, et al.	2019	Mejoramiento del sistema de recojo de residuos sólidos en el distrito de San Jerónimo – Cusco, 2018.	Residuos sólidos, programación lineal, recolección, camión recolector, ruta, mejoramiento, distancia, nodos, rendimiento, costo	Mejorar del sistema de recolección de residuos en la zona de san jerónimo - cusco 2018 mediante la implementación de técnicas programación lineal.	Las propuestas de mejora de rutas diseñadas con métodos de programación lineal ayudaron a mejorar los sistemas de recolección de residuos sólidos en los distritos de san jerónimo y cusco en 2018. por lo tanto, la propuesta podría haber ahorrado 268.288 km del total acumulado mensual de todas las rutas actualmente establecidas.
32	Montalban et al.	2018	Desarrollo de un planificador de rutas para recojo de desechos sólidos utilizando algoritmo genéticos	Algoritmo Genético, Grafo, planificador de rutas, desechos sólidos.	Desarrollar de un planificador de rutas de recolección de residuos sólidos para el Distrito de Chiclayo utilizando un algoritmo genético.	El tiempo de aplicación del algoritmo genético para hallar la manera óptima puede reducirse, disminuyendo el numero de la población, pero para rutas complicadas, la fiabilidad del algoritmo genético puede reducirse a medida que disminuye el tamaño de la población.

Nº	Autor	Año	Título	Palabras Clave	Objetivo/ Metodología	Resultados / Conclusiones
33	Petridis, et al.	2018	Measuring incineration plants' performance using combined data envelopment analysis, goal programming and mixed integer linear programming	Incineration plants DEA Goal programming MILP Waste to energy	El objetivo de este estudio es evaluar el desempeño de las plantas de incineración en una región considerando tanto las entradas como las salidas deseables e indeseables, estableciendo algunas metas deseadas, seleccionar y cerrar plantas de incineración en mora de manera objetiva e integrada.	Las plantas de incineración consumen residuos y producen calor y energía, contribuyen a reducir la emisión de gases de efecto invernadero, sin embargo, el impacto ambiental negativo de la incineración también es sustancial a través de la emisión de gases y la producción de cenizas de fondo.
34	Toro et al.	2020	Introducción al problema de enrutamiento de vehículos en la logística de distribución		Minimiza los costes fijos de apertura de un almacén y los costes variables de rutas. Equilibrar la carga de trabajo medida por el tiempo de cada ruta.	Los resultados exponen un buen rendimiento del modelo matemático relacionado con GAP conseguido para cada parte estudiada que va de 20 a 50 clientes. En estos casos, el valor GAP es 0 para 20 clientes y 5% para 50 clientes. En este sentido el tiempo de cálculo se considera aceptable.
35	Villamarín et al.	2020	Optimización logística de las rutas de recolección de desechos sólidos en la zona urbana del Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Pastaza para la reducción del costo operativo	tecnología y ciencias de la ingeniería; costos operativos; optimización logística; algoritmos metaheurísticos; lenguaje de programación	Saldo de carga para cada ruta. Desarrollar un modelo de optimización logística de las rutas de recolección de los desechos sólidos en la zona urbana del gobierno independiente descentralizado del cantón Pastaza a fin de reducir a fin de reducir el costo operativo.	Se seleccionó la mejor ruta, siendo el método colonia de hormigas el método con un mejor resultado de optimización, método que mejoró el sistema logístico actual, reduciendo las distancias en un 9,8%, evitando 32,8557 km por semana, usando las tres rutas propuestas en el presente estudio.
36	Saucedo et al.	2019	Collection of Solid Waste in Municipal Areas: Urban Logistics	waste management; residue collection; urban logistics; design of territories	Desarrollo de dos modelos matemáticos de macrorroteo basados en el diseño del área de acopio de residuos sólidos del Gran Monterrey.	Tanto para el modelo 1 como para el modelo 2, se efectuaron pruebas de programación en GAMS. GAMS es el software usado como fundamento para solucionar estos modelos caracterizados en datos obtenidos de la realidad.

Nº	Autor	Año	Título	Palabras Clave	Objetivo/ Metodología	Resultados / Conclusiones
37	BANCO MUNDIAL	2018	Los desechos: un análisis actualizado del futuro de la gestión de los desechos sólidos	-	Informar sobre la situación a nivel mundial sobre los residuos sólidos urbanos	-
38	Guerrero et al.	2013	Solid waste management challenges for cities in developing countries	Integrated solid waste; management; generation rate; quality; stakeholder; influential factor; developing countries	El objetivo de esta investigación fue determinar las acciones y el comportamiento de los actores sociales que juegan un papel en el proceso de manejo de residuos y analizar factores influyentes en el sistema, en más de 30 áreas urbanas en 22 países en desarrollo de tres continentes. En este estudio se utilizó una combinación de métodos para evaluar a los actores sociales involucrados y los factores que influyen en el manejo de residuos en las ciudades.	El resultado de la investigación proporciona una lista completa de los actores sociales involucrados que son pertinentes en los sistemas de manejo de residuos y un juego de factores que revelan las causas más importantes del fracaso de los sistemas. La información brindada es muy útil para la planificación, cambio o implementación de los sistemas de manejo de residuos en las ciudades.
39	Hernandez et al	2014	Metodología de la Investigación	-	Abordan los tres enfoques de la investigación, vistos como procesos: el cuantitativo, el cualitativo y los métodos mixtos.	-
40	Hoyos	2011	Evaluación del impacto de las actividades de Responsabilidad Social Empresarial-RSE en los usuarios de las cadenas de supermercados de Bogotá desde una perspectiva de construcción de marca (Brand Equity)	Brand Equity ; Marketing y responsabilidad social empresarial ; Marcas poderosas / Marketing and corporated social responsibility ; Strongs Brands ; Building strong Brands ;	Determinar el impacto de las actividades de RSE en los compradores habituales de cadenas de supermercados de la ciudad de Bogotá desde una perspectiva de construcción de marca.	Como conclusión del estudio empírico se puede afirmar que las acciones de responsabilidad social empresarial no son determinantes al momento de seleccionar una cadena para realizar las compras de manera regular, por encima de ella figuran atributos como el precio, la cercanía y el servicio prestado por las cadenas.

Nº	Autor	Año	Título	Palabras Clave	Objetivo/ Metodología	Resultados / Conclusiones
41	Kumar et al	2010	Genetic Algorithm: Review and Application	Genetic Algorithm, Chromosome, Evolutionary Algorithm, Selection, Mutation	Introducir un enfoque del algoritmo genético que incluye varias aplicaciones y describe la integración del algoritmo genético con enfoques de programación orientada a objetos	El algoritmo genético es un problema de optimización de resolución probabilística que se basa en un proceso de evaluación genética en biología y se enfoca como un algoritmo efectivo para encontrar una solución óptima global para muchos tipos de problemas. Este algoritmo es extremadamente aplicable en diferentes enfoques de inteligencia artificial, así como en diferentes enfoques básicos como orientación a objetos, robótica y otros.
42	Nurdiawan et al	2020	Optimization of Traveling Salesman Problem on Scheduling Tour Packages using Genetic Algorithms	-	Mediante el uso de la optimización del Problema del Vendedor Viajero se puede minimizar la distancia de las visitas turísticas al considerar la disponibilidad de tiempo. El problema del viajante de comercio (TSP) es un problema de optimización combinatoria. Este es un problema difícil NP y TSP son los problemas más estudiados en el campo de la optimización.	Se sabe que los algoritmos genéticos son un enfoque muy adecuado para optimizar los problemas del viajante de comercio. Sin embargo, los algoritmos genéticos dependen del cruce y la mutación.
43	Rokbani et al	2021	Bi-heuristic ant colony optimization-based approaches for traveling salesman problem	Bio-inspired heuristics Simplified PSO Local search (ls) Ant supervised by PSO (ASPSO) Traveling salesman problem (TSP)	Proponer una hibridación con el objetivo de asegurar que una heurística sea autoadaptativa para problemas discretos combinatorios. Consiste en definir una estrategia de afinación que permita retomar la dependencia heurística a sus propios parámetros.	En términos de parámetros, todas las proposiciones mostraron capacidades de comportamientos autoadaptativos que fortalecen la idea de un esquema heurístico menos dependiente de las variaciones de los parámetros. Las restricciones de procesamiento en tiempo real del esquema de hibridación también deben contemplarse para una posible implementación en línea en soluciones de fabricación y robótica, esencialmente para sistemas de planificación y enrutamiento de rutas cuando las restricciones de tiempo son de aproximadamente (200 ms) para el problema relacionado con Berlín 52.

Nº	Autor	Año	Título	Palabras Clave	Objetivo/ Metodología	Resultados / Conclusiones
44	Singh	2019	Solid waste management through the applications of mathematical models	Environmental problems; Municipal waste management; Mathematical models; Optimization modeling; Multi-objective approach; Multi-criteria decision analysis	Reducción del impacto Ambiental, y disminuir los costos operativos	Se presentan las aplicaciones del modelado de optimización, el enfoque multiobjetivo, el análisis de decisiones multicriterio y las redes neuronales artificiales en la gestión de residuos y se describen las aplicaciones de estas técnicas de modelado en diversos estudios de casos en todo el mundo. Y finalmente, se resumen las conclusiones del análisis.
45	Vecchi et al	2016	A sequential approach for the optimization of truck routes for solid waste collection	Route optimization; Capacitated arc routing problem; Solid waste collection; Linear programming	Presentar un enfoque secuencial que involucra tres fases para resolver el problema de optimización de rutas de camiones para la recolección de residuos sólidos.	La metodología propuesta se probó utilizando datos reales y resolvió eficientemente el problema. Los resultados condujeron a una reducción de las distancias recorridas por los camiones, lo que podría promover el ahorro de dinero para las arcas públicas, así como una reducción de las emisiones de dióxido de carbono. Esta metodología se aplicó con éxito utilizando datos reales recolectados en la región central de Campo Mourão, Paraná, Brasil, con el objetivo de planificar la recolección y el transporte de residuos para minimizar las distancias recorridas, así como los costos de mantenimiento y reabastecimiento de combustible de los vehículos involucrados en esta tarea y, en consecuencia, reducir las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera.
46	Wilk et al	2012	A Genetic Algorithm for the Split Delivery Vehicle Routing Problem	Vehicle Routing Problem; Transportation; Genetic Algorithm	El objetivo es determinar una ruta que maximice la puntuación respetando un límite de tiempo	El principal resultado de la investigación de este artículo son dos enfoques de aptitud para un procedimiento de algoritmo genético híbrido que brindan soluciones comparables basadas en el valor objetivo y el tiempo de computadora para el SD-VRP en comparación con un procedimiento de generación de columnas.



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, UGARTE ALVAN CARLOS ALFREDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis titulada: "Revisión Sistemática: Técnicas de Solución para el Problema de Enrutamiento Vehicular en la Gestión de Residuos Sólidos.", cuyos autores son DAVILA GOMEZ KATHERINE MILOUSKA, ESPINOZA DIAZ VICTOR JESUS, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 28.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 15 de Noviembre del 2022

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
UGARTE ALVAN CARLOS ALFREDO <b>DNI:</b> 10473562 <b>ORCID:</b> 0000-0001-6017-1192	Firmado electrónicamente por: CUGARTEA el 28-11- 2022 10:48:40

Código documento Trilce: TRI - 0441271