

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial



“ANÁLISIS DE RUTAS EN EL RECOJO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS”: una revisión de la literatura científica en los últimos 5 años.

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería Industrial

Autores:

Luis Eduardo Bobadilla Asto
Nataly Lisbeth Ramos Castillo

Asesor:

Ing. Fanny Emelina Piedra Cabanillas

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado con mucho amor y gratitud, en primer lugar, a Dios por brindarnos la oportunidad de vivir, permitiéndonos disfrutar cada momento de nuestras vidas y por guiarnos en el camino que ha trazado para nosotros e ir aprendiendo de cada situación que se nos pueda presentar.

A nuestros padres, quienes son nuestro ejemplo a seguir por todo el amor, trabajo y sacrificio brindado en todo este tiempo. Siendo en cada momento, el motor que nos impulsa a salir adelante y que con su apoyo incondicional nos alientan a seguir persiguiendo cada sueño y meta que nos propongámonos.

Asimismo, a todas las maravillosas personas que, con su amistad y cariño, nos acompañaron en el transcurso de nuestra vida universitaria, aportando en nuestra formación tanto profesional como, de ser humano.

Con amor

Luis y Nataly

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de investigación fue realizado bajo la supervisión de la Ingeniera Piedra Cabanillas Fanny Emelina, a quien expresamos nuestro más profundo agradecimiento, por su paciencia, tiempo y dedicación que tuvo para aconsejarnos y guiarnos en el desarrollo del presente trabajo. De igual forma, reconocemos la ardua labor de todos los docentes de la carrera de Ingeniería Industrial, de la Universidad Privada del Norte, quienes nos han visto crecer como personas, en el transcurso de nuestra formación profesional, y gracias a sus conocimientos impartidos, hoy podemos sentirnos dichosos y contentos de culminar con esta investigación.

Con una profunda gratitud

Luis y Nataly.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE FIGURAS	5
RESUMEN	6
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	10
CAPÍTULO III. RESULTADOS	11
REFERENCIAS	22
ANEXOS	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Cantidad de documentos que cumplen con los criterios	12
Figura 2: Cantidad de documentos según buscador.....	12
Figura 3: Cantidad de documentos según términos	13
Figura 4: Cantidad de documentos por tipos	14
Figura 5: Cantidad de documentos según año de publicación.....	14
Figura 6: Cantidad de documentos según idioma.....	15
Figura 7: Cantidad de documentos según tipo de investigación.....	15
Figura 8: Cantidad de documentos según tipo de residuos.....	16
Figura 9: Cantidad de documentos por sector	16
Figura 10: Cantidad de documentos según contexto	17
Figura 11: Cantidad de documentos que utilizan herramientas o métodos	17

RESUMEN

La presente revisión sistemática se enfoca en dar a conocer la información correspondiente que existe acerca del recojo de residuos sólidos urbanos. El desarrollo de la investigación se inició con la búsqueda de la información en las bases de datos Google Académico, Microsoft Academic Search, Alicia y Redalyc, considerando algunos criterios básicos como documentos que sean artículos científicos o tesis, en idioma español, inglés y portugués, publicados en los últimos cinco años y extraídos de una base de datos confiables, entre otros.

Como resultado se obtuvieron 104 documentos que cumplen con todos los criterios establecidos. De los cuales, se puede decir que, el 40% pertenecen a Google Académico, 69% son artículos científicos, 22% son publicaciones del año 2016, 63% son de idioma español, 49% son investigaciones mixtas, 100% son residuos sólidos urbanos, 96% pertenecen al sector público, 76% son de contexto internacional y 75% hacen uso de herramientas o métodos.

Después de haber revisado los documentos, se llegó a la conclusión que la eficiente recolección de residuos sólidos es fundamental para reducir el impacto ambiente y mejorar la calidad de vida de la ciudadanía. Por ello, existen métodos u herramientas que nos ayudan a optimizar la prestación de este servicio.

PALABRAS CLAVES: Residuos sólidos, Optimización de rutas, Recojo de residuos.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional ha generado que la economía del consumo se expanda rápidamente; lo que ocasiona que la generación de residuos sólidos urbanos (RSU) tienda a incrementarse a través del tiempo. A nivel global se generan millones de toneladas de residuos sólidos que son depositados en rellenos sanitarios, estas grandes cantidades de basura acumulada ocasionan graves afectaciones socio ambiental. (Gran Castro & Bernache Pérez, 2016).

De igual forma, Sánchez (2015) nos indica que, tras el aumento de la cantidad de habitantes, se hace necesario un manejo eficiente de residuos sólidos, especialmente, en los sitios urbanos. Este fenómeno es más evidente en las ciudades de América Latina que en las europeas, en donde la mala práctica de los residuos ocasiona enfermedades y gases efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global.

Por ello, según Aguilar & Zambrano (2015) las estrategias que deben de emplearse para minimizar el riesgo al medio ambiente y mejorar la calidad de vida, es la del llamado Manejo Integral de los Residuos Sólidos (MIRS), que comprende una serie de acciones para manipular eficientemente los residuos desde su generación hasta su disposición final, donde la etapa que tiene mayor importancia es la recolección.

Uno de los servicios básicos que deben recibir todos los ciudadanos es la recolección de desechos sólidos que, de mantener niveles de calidad elevados en el momento de la prestación de este servicio, se conseguiría mejorar las condiciones de salubridad, accediendo así a una mejor calidad de vida. (Jerez, Borja, & D’Armas, 2018)

La ciudad de Davao, considerada altamente industrializada, tiene aproximadamente 1.63 millones de residentes, lo que ha ocasionado que el volumen de residuos recolectados por día aumente en un 100% desde 2013. El gobierno ante esta situación, gastó alrededor de \$ 13 millones para el alquiler mensual de cien camiones de basura. Esto nos muestra la importancia de optimizar el proceso de recolección de basura como enrutamiento, siendo este último, uno de los componentes principales que tiene mayor deficiencia en la prestación del servicio. Por lo que su objetivo de optimizar la ruta para la recolección de RSU es minimizar el costo al nivel de servicio deseado. (Manliguez, Cuabo, Gamot, & Ligue, 2017)

Además, la municipalidad de Morón, al oeste de la Ciudad de Buenos Aires, Argentina; se encuentra dividido en hasta siete sectores del total de su población, de modo que cada sector es recorrido por un único camión de recolección. Los residuos se recogen un día a la semana, y como el sistema no cuenta con contenedores o basureros centralizados, los vehículos deben recorrer todos los frentes domiciliarios para realizar la recolección. Sin embargo, las rutas han sido diseñadas de manera manual y como consecuencia de ello los recolectores terminaban no recorriendo algunas de las cuadras en las horas estipuladas, generando malestar y numerosas protestas de los vecinos. (Braier, Durán, Marengo, & Wesner, 2015)

De igual forma, en el año 2015 se generó tanta basura como nunca antes en San Juan de Miraflores (SJM): 79 952 652 kilogramos de desechos. Esto significa que el departamento de Limpieza Pública de dicho distrito tuvo que recoger, transportar y deshacer 222 091 kilogramos de RSU diariamente. Esta tarea implica un gran esfuerzo organizacional y de gestión. Sin embargo actualmente, no se está realizando este servicio a un nivel adecuado, por lo que las consecuencias son malos olores, enfermedades y una baja calidad de vida de los habitantes de SJM. (Oldenhage, 2016)

En base a la problemática establecida, existen herramientas y métodos que nos permiten analizar y poder optimizar sistemas de recojo de residuos sólidos urbanos. Según Rivera (2019) es importante aplicar herramientas de la investigación de operaciones para determinar rutas que optimicen la recolección de residuos, mediante un modelo matemático basado en el método del Agente Viajero (TSP) que determina las rutas óptimas logrando una reducción de la distancia total recorrida y así mismo reduciendo el consumo de los recursos.

Incluso, el modelo del algoritmo de colonia de hormigas construye recorridos para el TPS, buscando encontrar la ruta de menor costo a través de los arcos que unen los nodos, recorriendo una sola vez cada punto. Con el fin de que el camión recolector pueda circular en cada uno de los nodos, con la condición de comenzar y terminar el recorrido en el mismo nodo. (Mendoza & Cullay, 2018)

Por otro lado, Martínez (2018) nos muestra que el rediseño de macro y micro rutas de recolección de residuos sólidos determina la producción por individuo y el peso específico de los residuos sólidos así como, el número de zonas de recolección, el número de vehículos recolectores y su recorrido, con el fin de brindar el servicio a toda la población de la ciudad de Túlcan.

Además, Pineda (2015) nos indica que el modelo de problema de ruteo de vehículos capacitados sobre arcos (CARP) es el que mejor representa el sistema real, haciendo una correspondencia a cada elemento del sistema, que incluye: la cantidad y capacidad de vehículos, las demandas en cada parada asociadas a la cantidad de residuos que se recolectan, un subconjunto de calles a visitar y un único depósito que es la estación de transferencia.

Teniendo como antecedente lo expuesto, nuestra revisión es importante porque presenta la búsqueda de investigaciones en inglés, español y portugués. Orientada a información

relacionada a rutas de recojo de RSU, excluyendo recorridos de cualquier otro servicio (vehículos urbanos, transporte de carga, autobuses, etc.); conteniendo además las herramientas o métodos para el análisis de rutas de recojo de RSU.

Entonces, en este estudio se responde a la siguiente pregunta ¿Qué información existe en los documentos buscados con respecto al recojo de residuos sólidos urbanos? Por consiguiente, tenemos como objetivo recabar información acerca del recojo de residuos sólidos urbanos, en los últimos cinco años.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

La presente investigación está centrada en una revisión sistemática; según Moreno, Muñoz, Cuellar, Domancic, & Villanueva (2018) se caracterizan por tener y describir el proceso de elaboración transparente y comprensible para recolectar, seleccionar, evaluar críticamente y resumir toda la evidencia disponible con respecto a la efectividad de un tratamiento, diagnóstico, pronóstico, entre otros. La búsqueda se realizó en las bases de datos Google Académico, Microsoft Academic Search, Alicia y Redalyc, con la intención de dar respuesta a la siguiente pregunta ¿Qué información existe en los documentos buscados con respecto al recojo de residuos sólidos urbanos?

Los términos de inclusión utilizados en inglés fueron: “Solid waste collection”, “Route optimization” y “Waste transport”; en español: “Sistema de rutas”, “Gestión de residuos sólidos” y “Recojo de residuos urbanos”; y en portugués: “Rotas ideais de coleta de residuos”, “Resíduos sólidos” y “Simulação de rotas de transporte”. Con respecto a los criterios de inclusión para la selección de documentos se consideraron sólo los estudios realizados en los últimos cinco años, en idioma: español, inglés y portugués; documentos que son artículos

científicos y tesis, que tengan relación al tema de estudio, enfocado en residuos sólidos urbanos, con tipo de investigación cualitativa, cuantitativa o mixta; además, que son aplicados en contextos internacionales, nacionales o locales, en el sector privado o público y son extraídos de una base de datos confiable.

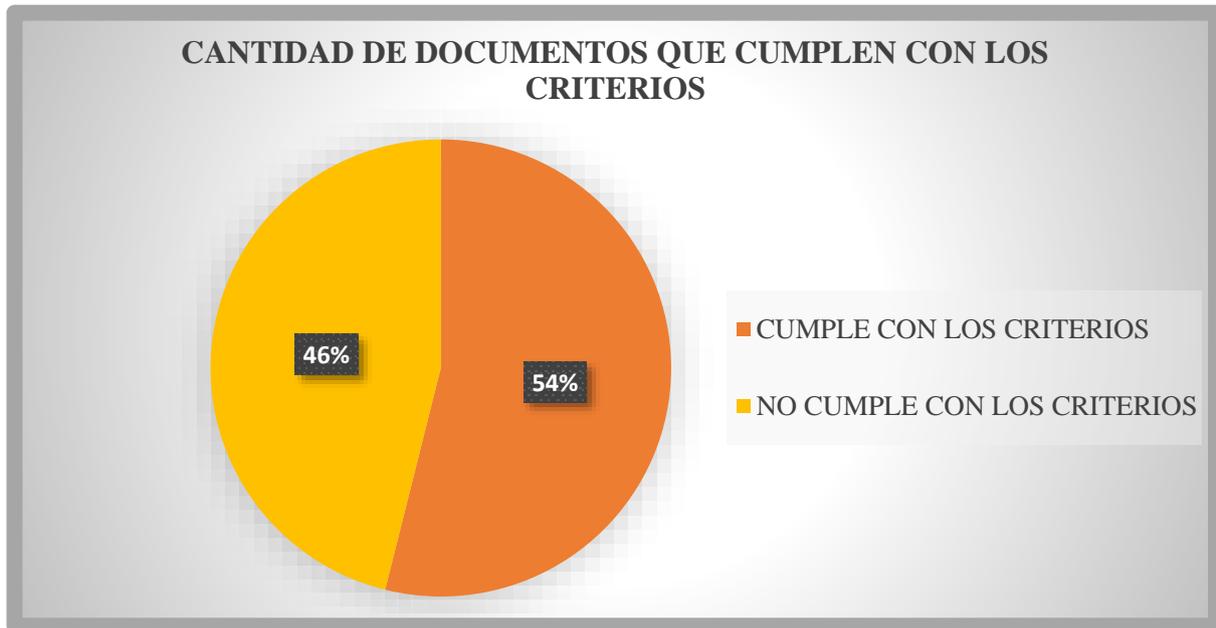
Por otro lado, los criterios de exclusión fueron aquellos documentos que constan de duplicidad, no cuenta con información completa y además, no tienen relación con el tema y no responden a la pregunta de investigación. La búsqueda de documentos inicio con el fraseo de palabras claves, donde se dio lectura a 194 documentos, de las cuales 73 pertenecieron a Google Académico, 50 a Microsoft Academic Search, 27 a Alicia y 44 a Redalyc.

Posteriormente se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión, donde se redujeron a 104 documentos; de lo cuales 41 pertenecieron a Google Académico, 17 a Microsoft Academic Search, 18 a Alicia y 28 a Redalyc. Estos artículos fueron sintetizados en la tabla presentada en anexos (tabla 1), donde se detalló el autor, año de publicación, base de datos y un resumen.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

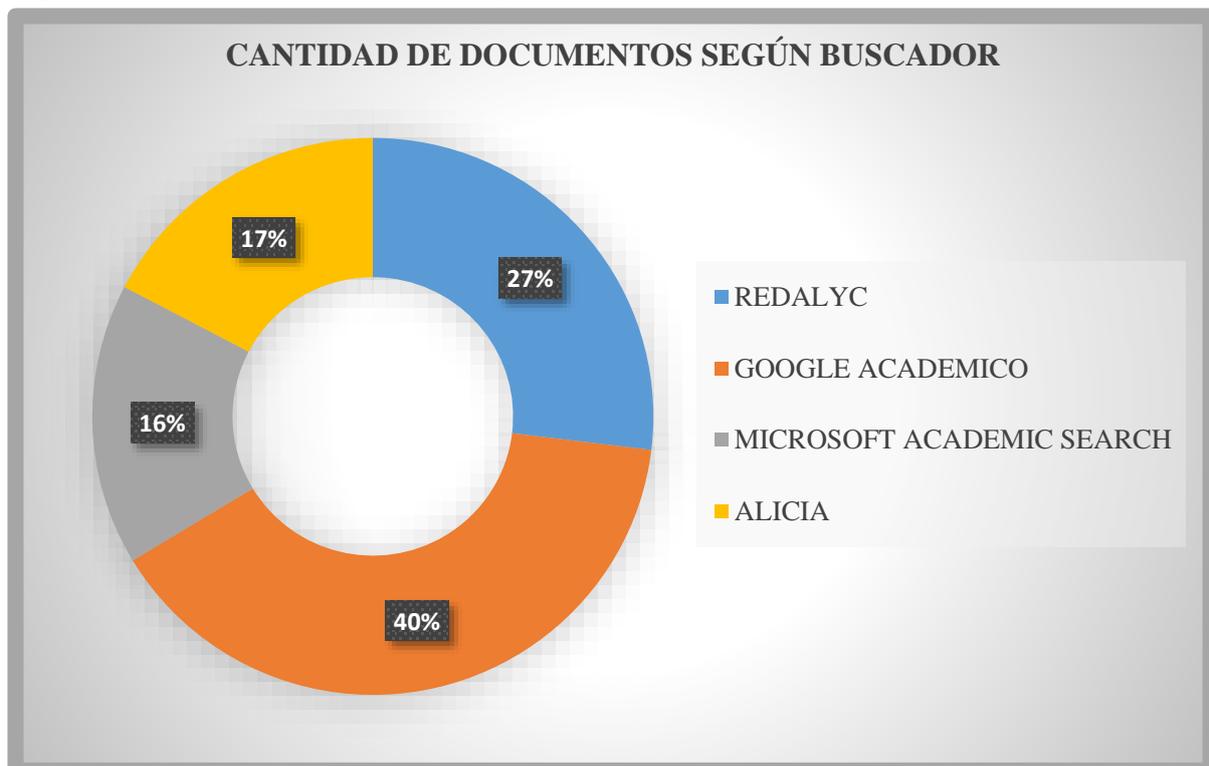
Posteriormente a la búsqueda de investigaciones en relación a nuestro tema de estudio, procedemos a evaluar y analizar la información recolectada, donde se observa que del total de documentos, 104 cumplen con los criterios previamente establecidos, tal como se muestra a continuación:

Figura 2: Cantidad de documentos que cumplen con los criterios



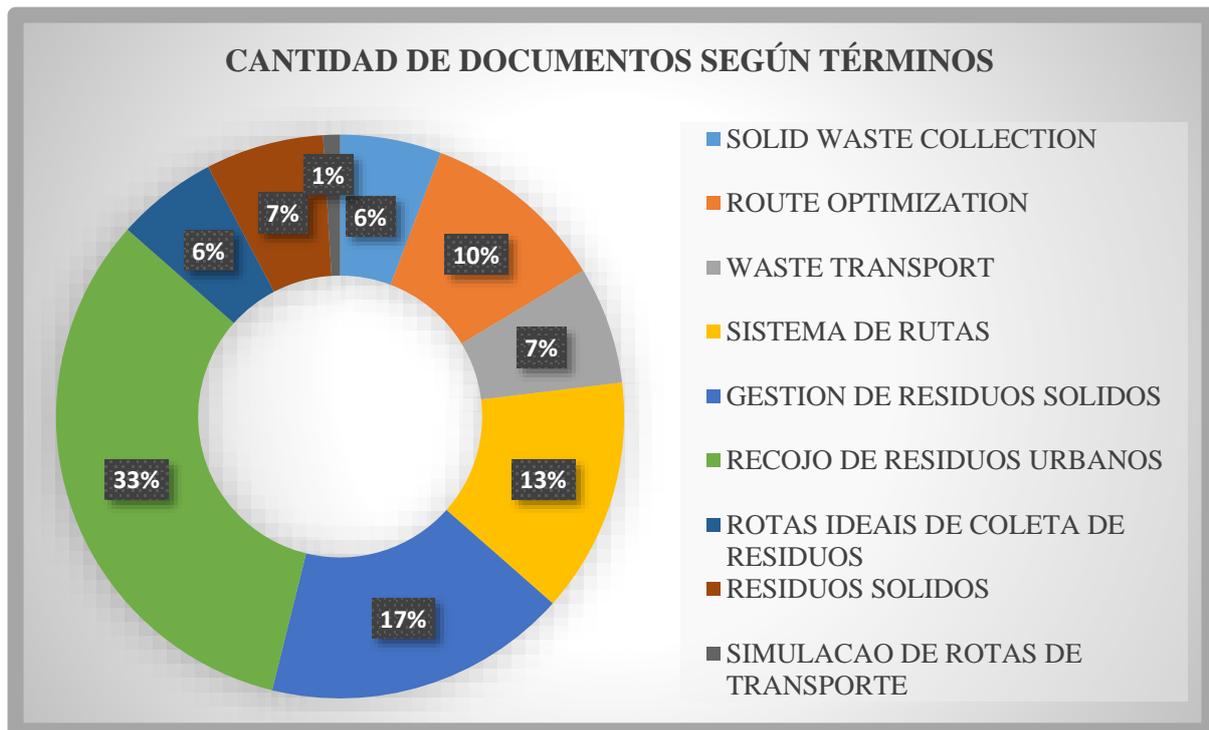
En la Figura 1, se indica que, del total de documentos investigados, solamente el 46% no logran cumplir con lo requerido, mientras que 54% cumplen con los criterios establecidos, los cuales son mencionados en el capítulo de metodología.

Figura 1: Cantidad de documentos según buscador



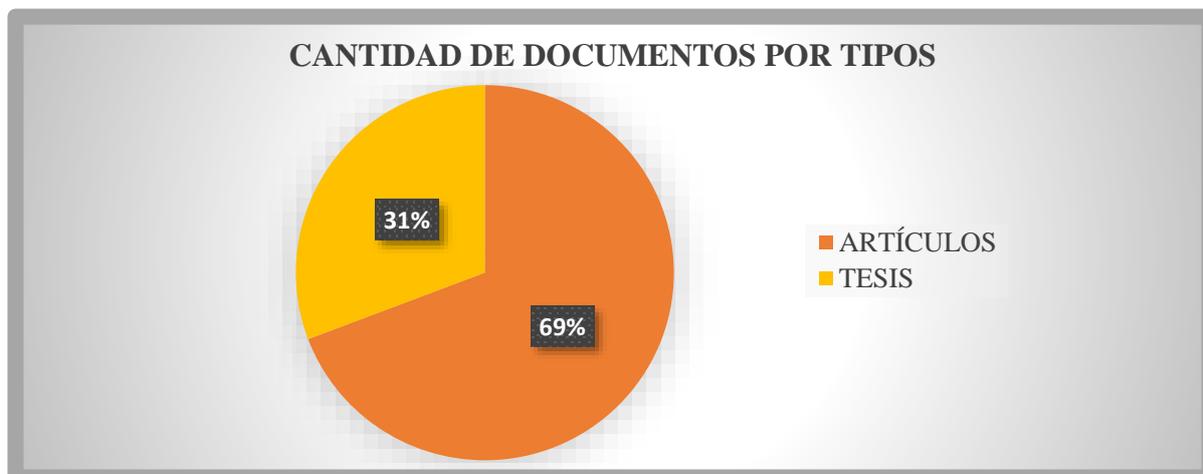
En la figura 2, se muestra que del total de documentos que cumplen con los criterios, la mayor cantidad proviene del buscador Google Académico con un 40%, seguido de Redalyc con 27%. Mientras que los buscadores con menor porcentaje de documentos seleccionados, pertenecen al buscador Alicia cuenta con 17% y Microsoft Academic Search con solamente 16% del total.

Figura 3: Cantidad de documentos según términos



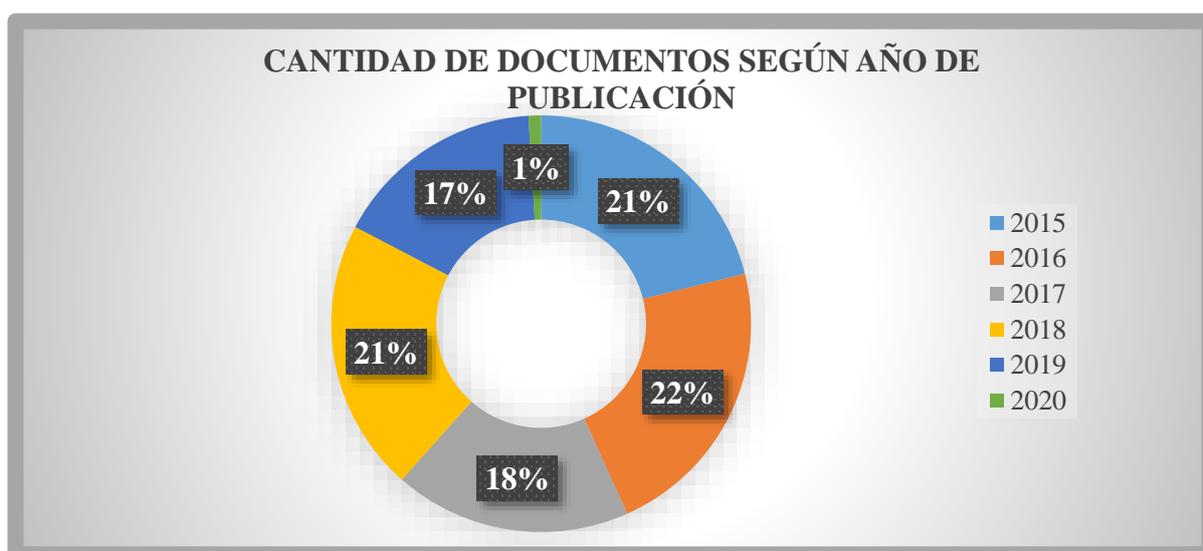
En la figura 3, se analiza que el 33% de documentos seleccionados han sido encontrados con el término “Recojo de residuos sólidos”; sin embargo, solamente el 1% del total se encontró con el término en inglés “Waste transport”.

Figura 4: *Cantidad de documentos por tipos*



En la figura 4, se observa que el mayor porcentaje, del total de documentos seleccionados, son artículos científicos que tiene un alcance del 69%, mientras que el 31% restante, pertenecen al grupo de tipo tesis. Si bien es cierto, la investigación se enfoca en el uso de artículos científicos; sin embargo, en este caso, se ha tomado en cuenta aquellas tesis que resultan ser provechosas para nuestro trabajo de investigación, puesto que en su mayoría mencionan herramientas o métodos propuestos o en algunos casos aplicados, teniendo como resultados una mejor optimización en la prestación del servicio de recojo de residuos sólidos urbanos.

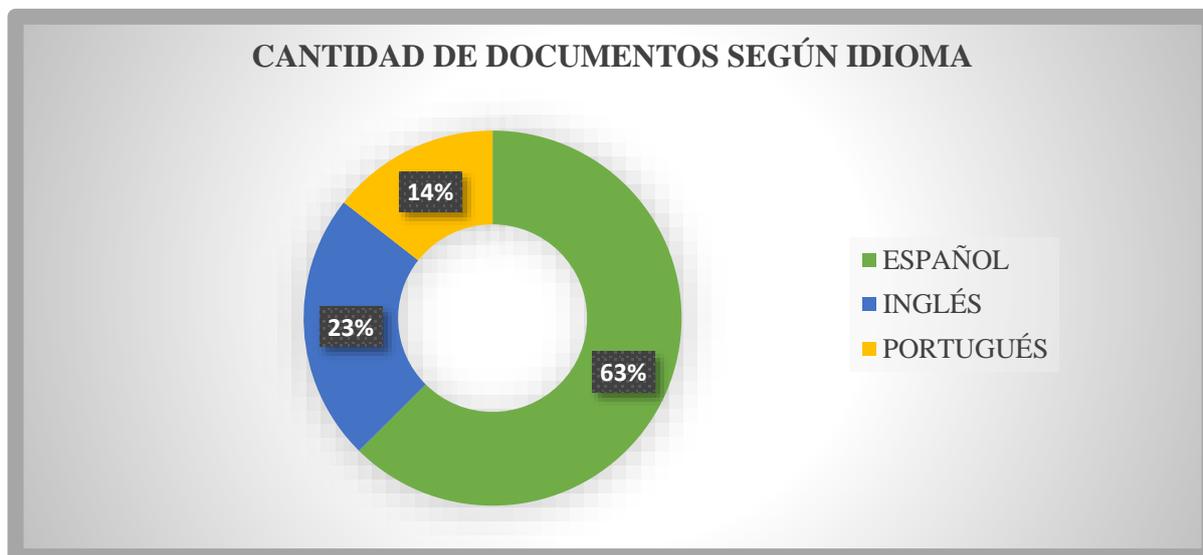
Figura 5: *Cantidad de documentos según año de publicación*



Con respecto a la búsqueda de investigaciones, hemos tomado en cuenta aquellas que tengan una antigüedad no mayor a 5 años, para poder así aprovechar la información actual. Esto lo podemos observar en la figura 5, donde la mayor cantidad de documentos analizados han sido publicados en el año 2016 englobando el 22% del total;

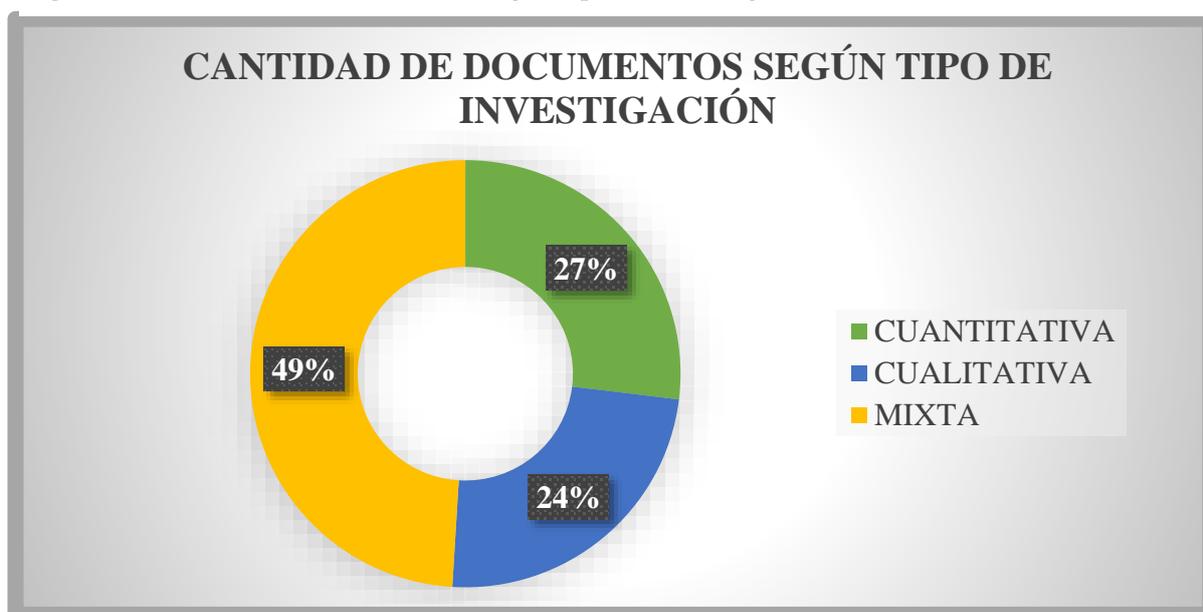
seguidamente, para el año 2018 solo el 21% fueron publicados. Asimismo, los documentos anunciados en el año 2019 abarcan un 17% y solamente el 1% comprende al año 2020.

Figura 6: *Cantidad de documentos según idioma*



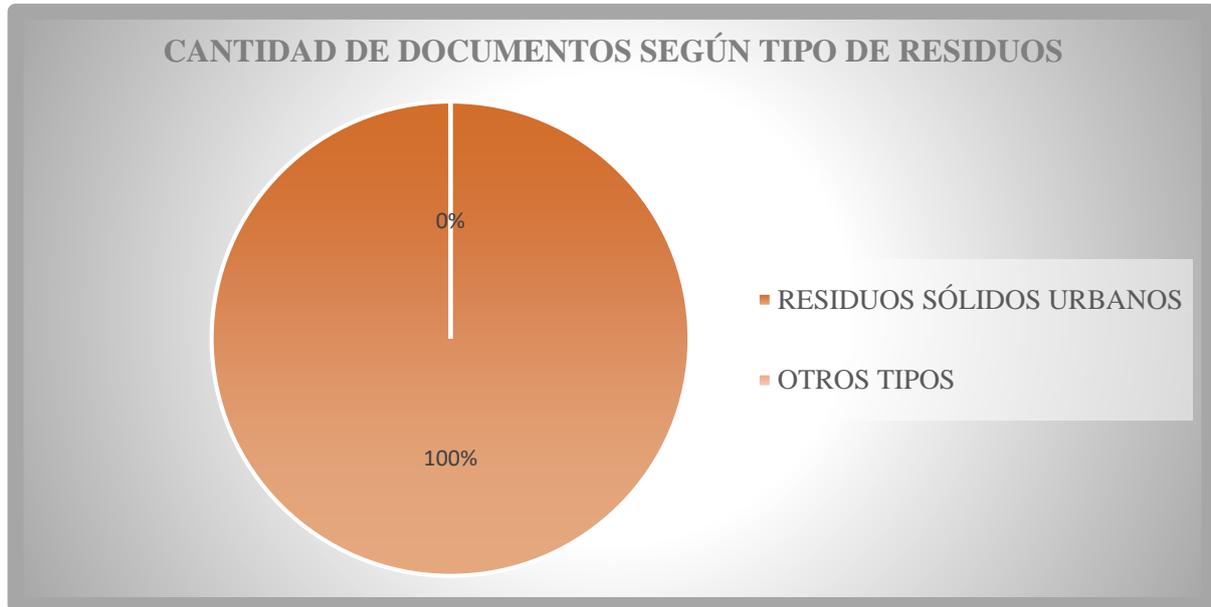
Por otro lado, se consideró aquellos documentos que se encuentran en los idiomas dominantes, como se puede observar en la figura 6, donde la mayor cantidad de documentos seleccionados con un 63% pertenecen al idioma español; por otra parte, un 23 % del total comprenden investigaciones en idioma inglés y solamente el 14% de documentos son de idioma portugués.

Figura 7: *Cantidad de documentos según tipo de investigación*



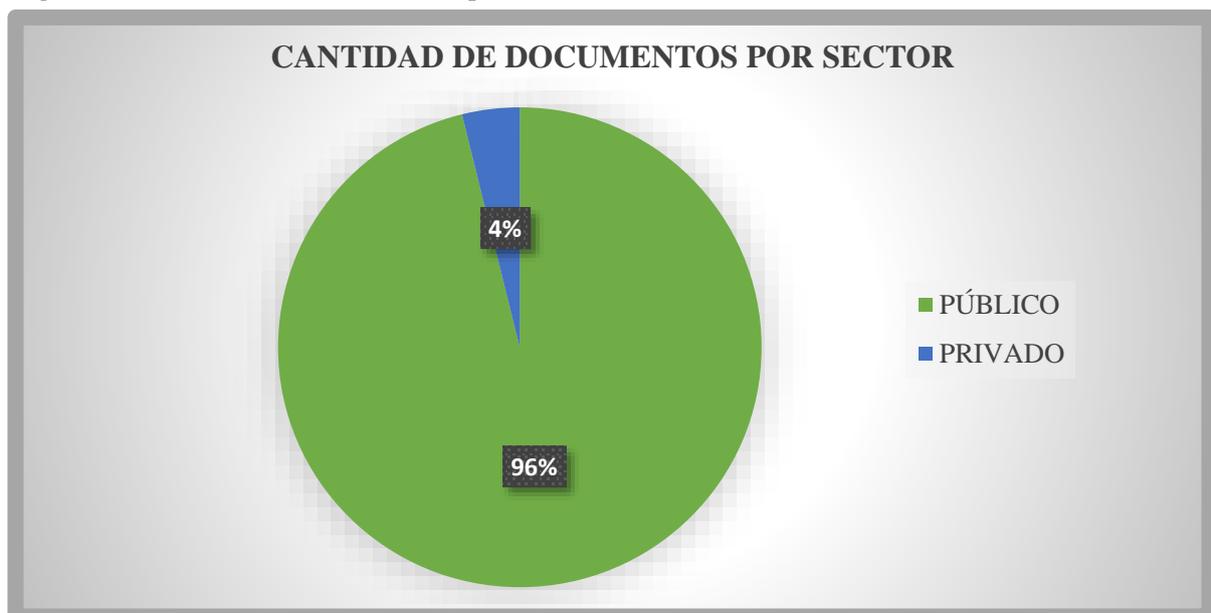
En la figura 7, se muestra que del total de documentos analizados el 49% son de tipo de investigación mixta, 27% de tipo cuantitativas y finalmente 24% son de tipo cualitativas.

Figura 8: *Cantidad de documentos según tipo de residuos*



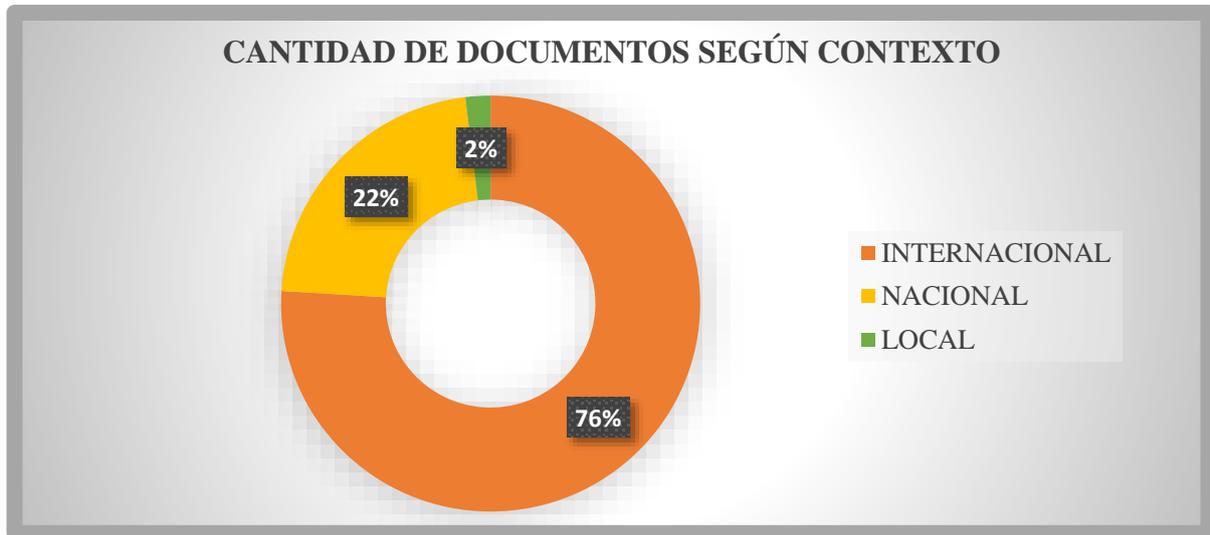
En la figura 8, se observa que el 100% de los documentos seleccionados se enfocan en tipos de residuos sólidos urbanos.

Figura 9: *Cantidad de documentos por sector*



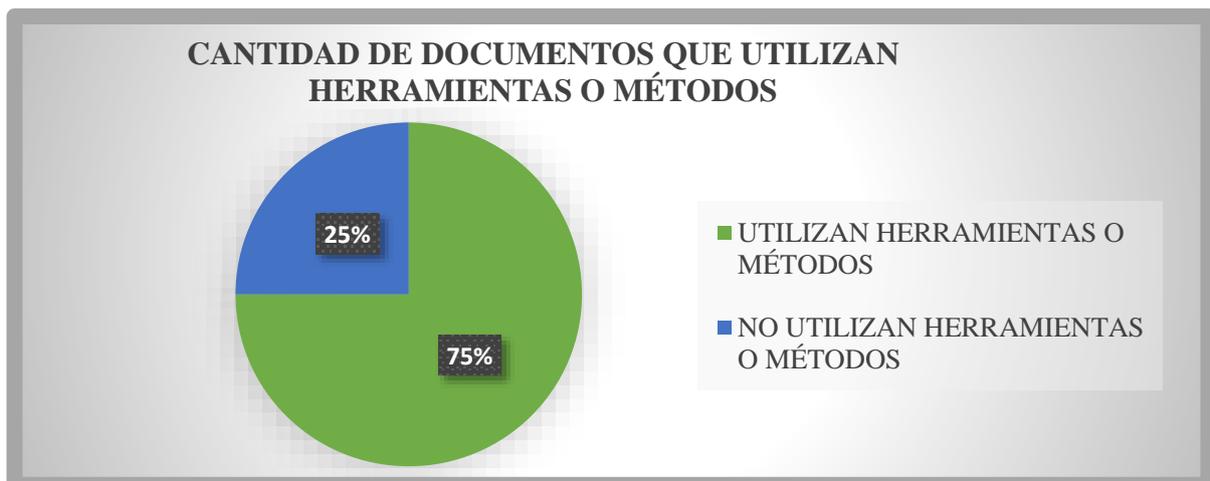
En la figura 9, se muestra que el 96% del total de documentos analizados se encuentra dentro del sector público, mientras que solo el 4% pertenecen al sector privado.

Figura 10: *Cantidad de documentos según contexto*



En la figura 10, se indica que del total de documentos seleccionados el 76% se realiza en un contexto Internacional, 22% en contexto Nacional y solamente el 2% en un contexto local. Por lo que resulta evidente notar, las escasas investigaciones nacionales y locales acerca del tema de recojo de residuos sólidos urbanos.

Figura 11: *Cantidad de documentos que utilizan herramientas o métodos*



En la figura 11, se observa que el 75% de los documentos seleccionados utilizan alguna herramienta o método para la optimización del recojo de RSU, tales como: la herramienta de Sistema de Integración Geográfica (SIG), método del agente viajero (TPS), método de macro rutas y micro rutas, método del

algoritmo de colonia de hormiga (ACO), entre otros. Mientras que el 25 % no hace uso de algún método o herramienta; puesto que son de tipo informativa e investigativa.

CAPITULO IV. DISCUSIÓN

Han & Ponce (2015) nos indican que la recolección es la parte del proceso encargada de recuperar estos RSU, desde el punto de recolección hasta el proceso de eliminación. Siendo responsables de su efectividad el gobierno general, los servicios municipales o institucionales, corporaciones públicas o privadas y empresas especializadas. Por otro lado, según Romero, Calderón, & Marmolejo (2016) la recolección y transporte de RSU, son actividades que se deben analizar en conjunto, teniendo en cuenta diversas modalidades para desarrollar este servicio, que va a depender de las distancias a recorrer, la capacidad del equipo, el estado técnico de las vías, las facilidades de acceso, maniobrabilidad y pendientes requeridas para obtener una eficiente prestación de estos servicios.

Además, Pereira, Soares, & Barbosa (2018) nos dice que a nivel mundial, las ciudades se encuentran en la búsqueda de la optimización eficaz del servicio de recojo de RSU, por lo que nos detalla tres enfoques de la gestión operativa que ayudarían a definir las rutas más optimas de recojo de RSU, como el clúster first route second, modelos matemáticos y métodos heurísticos; que enfatizan la reducción del recorrido, definiendo una mejor secuencia de los contenedores seleccionados, acerca de que días deben visitarse para garantizar el máximo beneficio. En cambio, Herrera, Collaguazo, Lorente, Montero, & Valencia (2015) nos señalan que como el servicio de recolección de RSU se ha ido incrementando, existe la posibilidad de optimizar la prestación de las mismas mediante la aplicación de los avances de la Investigación Operativa y herramientas de calidad o productividad, lo cual puede generar ahorros monetarios,

mejora en el aprovechamiento de los recursos, aumento del nivel del servicio hacia los pobladores y disminución del impacto ambiental.

Hermitaño (2019) y Mancera, Garro, & Rodríguez (2015) concuerdan que una de las técnicas de solución al problema de las rutas de recolección de RSU es la del algoritmo de colonia de hormigas (ACO), considerada como inteligencia de enjambres, debido a que mediante hormigas artificiales y la ejecución de un algoritmo, simulan su comportamiento de encontrar el camino más corto entre el nido y la fuente de alimento, la cual se basa en seguir un rastro de feromonas, reforzando así su regreso al nido. Con el fin de poder optimizar los circuitos que tienen establecidos los vehículos recolectores y encontrar rutas que reduzcan la distancia recorrida. Al contrario, Pinilla (2017) nos indica que se debe implementar el diseño de las macro rutas, en donde se divide geográficamente una ciudad para realizar una correcta distribución de los recursos y equipos con el que se cuenta; Asimismo, las micro rutas constan de una descripción detallada de las calles de una ciudad, para realizar la eficiente prestación del servicio en su totalidad. Esto con el fin de realizar un ruteo óptimo para cada camión recolector con el que se cuenta y poder asignar eficientemente, a cada uno, el número de usuarios a atender por secuencia del servicio de recolección establecido y que el personal cumpla con las 8 horas establecidas de jornada laboral.

Por lo cual, Romero, Calderón, & Marmolejo (2016) nos proponen manejar el método de recolección de esquina o parada fija, puesto que es el más efectivo, debido a que el camión recolector se debe estacionar en puntos estratégicos ya establecidos, cubriendo así, mayor superficie y, siendo más eficiente y cómodo para la población. En cambio, Rodríguez & Velasco (2017) nos sugieren utilizar el método de contenedores, puesto que consta ubicar en puntos estratégicos a dichos recipientes, donde la población pueda depositar sus RSU,

generando así un aumento de velocidad en el recorrido, logrando reducir los cuellos de botella ante la prestación del servicio.

En contraste, Assaf (2017) señala que los municipios son responsables de brindar un eficiente servicio de recolección de RSU. Por ello, el algoritmo genético es una buena opción, puesto que a partir de una población inicial y mediante el uso de los operadores como la selección, el cruzamiento y la mutación crean nuevas generaciones para encontrar la ruta óptima entre un punto inicial, un punto final y cualquier cantidad de obstáculos que puedan presentarse en el proceso. Logrando encontrar así las mejores rutas del servicio, minimizando la distancia total recorrida por los carros recolectores y, por lo tanto, los costos totales. Por otro lado, Correa (2018) y Enciso, Cervantes, Robles, Durán, & Castro (2019) coinciden en que la optimización de las rutas de recolección de RSU, son necesarios para evitar la acumulación de estos y la generación de gastos innecesarios. Por lo que propone el rediseño de rutas utilizando la metodología Sistema de Información Geográfica (SIG) - Software ArcGis, el cual es una herramienta útil para el análisis de redes, con el fin de calcular rutas y distancias óptimas que maximicen la eficiencia en la prestación del servicio y del número de vehículos usados, logrando reducir el tiempo del recorrido.

Según Guamán, Miño, & Cayan (2017) para optimizar el servicio de recolección de RSU; en primer lugar, se debe determinar los costos de operación del sistema, la capacidad de carga de los vehículos, fluencias de recolección, desechos producidos por día y costos de mano de obra. Para ello, se requiere un modelo de programación lineal que pueda realizar el análisis respectivo. Además, se hace uso del programa LINDO donde se plantea la solución mediante un código informático bastante simple; y es a partir de este, que se pueden establecer estrategias en la toma de decisiones permitiendo plantear mejoras en la prestación del servicio de recolección de RSU. En comparación, las investigaciones de Rivera (2018) y León & Quispe

(2019) nos proponen aplicarlo bajo el enfoque del modelo de agente viajero (TPS), el cual busca reducir la distancia recorrida del recojo de los RSU; mediante el diseño de una ruta óptima que sea capaz de cubrir en su totalidad toda el área asignada, regresando siempre a su punto de origen.

CAPITULO V. CONCLUSIONES

A partir de la investigación abordada se concluye, que la etapa de recolección juega un papel importante en lo que refiere a una correcta gestión de RSU, puesto que una eficiente diligencia de los mismos, permite brindar una correcta prestación del servicio, forjando rutas que cubran en su totalidad los diversos puntos de acopio, brindando a la ciudadanía una calidad de vida con condiciones de salubridad óptimas y por ende reduciendo el impacto ambiental negativo, que una mala gestión de estos generaría.

Según lo investigado podemos mencionar que para optimizar las rutas en el recojo de RSU, primero se deben identificar y analizar cuáles son los puntos críticos que afectan directamente en la prestación del servicio, para que, a partir de ello, se logre implementar métodos u herramientas que perfeccionen el proceso de transporte y recolección de RSU.

Los hallazgos en base al enfoque descrito nos señalan mecanismos de mejora que abarcan modelos matemáticos, simuladores de geo-localización, modelos heurísticos y meta-heurísticos y sistemas de investigación de operaciones. Los cuales nos permiten analizar estrategias de optimización, seleccionando las rutas más óptimas que agilicen el recorrido de los vehículos recolectores, con el fin de reducir el tiempo de recolección, desde el punto de partida hasta su disposición final.

La metodología empleada para esta investigación se basó en revisiones sistemáticas referentes a la prestación de servicio de recojo de RSU, aportando a la síntesis del conocimiento, se valora esta investigación ya que será útil para todas las personas que buscan gestionar correctamente el sistema de recolección de RSU.

REFERENCIAS

- Araiza Aguilar, J. A., & José Zambrano, M. E. (2015). *Mejora del servicio de recolección de residuos sólidos urbanos empleando herramientas sig: un caso de estudio*. Obtenido de Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46750925005>
- Assaf, S. (2017). *vehicle-routing optimization for municipal solid waste collection using genetic algorithm: the case of southern nablus city*. Obtenido de Google Académico: <https://content.sciendo.com/view/journals/ceer/26/3/article-p43.xml>
- Braier, G., Durán, G., Marengo, J., & Wesner, F. (2015). *Una aplicacion del problema del cartero rural a la recolección de residuos reciclables en argentina*. Obtenido de Google academico: <http://www.dii.uchile.cl/~ris/RIS2015/residuos.pdf>
- Correa, J. (2018). *Propuesta de mejora del sistema de recolección de residuos sólidos urbanos en el distrito de Chiclayo para reducir los impactos ambientales*. Obtenido de Google Académico: <http://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/1142>
- Delgado, L. (2018). *Nuevas estrategias para el problema multiobjetivo de la recogida de basura. Una aplicación real al caso de Málaga*. Obtenido de Google Académico: <https://search.proquest.com/openview/c2b31cf4ac543438e98a79f1e7a8fb04/1?pq-origsite=gscholar&cbl=466404>
- Enciso, D., Cervantes, P., Robles, F., Durán, E., & Castro, D. (2019). *Sistema de informacion geografica para optimizar el transporte de residuos a sitios de disposicion final en el Estado de Mexico, Mexico*. Obtenido de Microsoft Academic Search: <https://academic.microsoft.com/paper/2979253913/related>
- Gran Castro, J. A., & Bernache Pérez, G. (2016). *Gestión de residuos sólidos urbanos, capacidades del gobierno municipal y derechos*. Obtenido de Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455745080004>

- Guamán, Á., Miño, G., & Cayan, J. (2017). *Optimización del proceso de recolección de desechos sólidos de la ciudad de Ambato mediante el diseño de un modelo de distribución de redes*. Obtenido de Google Académico: <https://186.46.160.238/index.php/ECASinergia/article/view/825>
- Han, H., & Ponce, E. (2015). *Waste collection vehicle routing problem: literature review*. Obtenido de Google Académico: <https://hrcak.srce.hr/149602>
- Hermitaño, M. (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*. Obtenido de Alicia: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNM_df7b2523bfca189935ae5d9ae1916fc0
- Herrera, I., Collaguazo, G., Lorente, L., Montero, Y., & Valencia, R. (2015). *Una revisión del estado del arte de la optimización de rutas de recolección de residuos sólidos municipales en países en vías de desarrollo*. Obtenido de Google Académico: https://www.researchgate.net/profile/Israel_Herrera4/project/Optimization-of-routes-for-municipal-waste/attachment/58caa114934940d37290c464/AS:472543325888512@1489674516598/download/ARTICULO+ORIGINAL+ISRAEL+HERRERA-CINDU.pdf?context=projectUpdateDetail
- Jerez Peñafiel, W., Borja Salinas, E., & D'Armas Regnault, M. (2018). *Percepción de la calidad del servicio de recolección de desechos sólidos: evaluación de un gobierno autónomo descentralizado del ecuador*. Obtenido de Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=215058535002>
- León, Y., & Quispe, A. (2019). *Mejoramiento del sistema de recojo de residuos sólidos en el distrito de San Jerónimo - Cusco, 2018*. Obtenido de Alicia: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UACI_c82f2702073e96e11103feea463c9b12
- Linares, E. (2016). *Aplicación del método del barrido para reducir los costos de recolección y transporte de Residuos sólidos de la empresa QUMIR S.A.C. 2016*. Obtenido de Alicia: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_ed9974ac41fa3042c8acefd79be2b154

- Luna, P. (2018). *Propuesta de un plan para la recolección y transporte de los residuos sólidos generados en la ciudad de Tarapoto – provincia de San Martín, 2017*. Obtenido de Google Académico: <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2855>
- Mancera, E., Garro, B., & Rodríguez, K. (2015). *Optimización mediante algoritmo de hormigas aplicado a la recolección de residuos sólidos en UNAM-CU*. Obtenido de Google Académico: <https://pdfs.semanticscholar.org/45d9/fc2b16e15bc7403c8e7f09f943bb1a9e0d7f.pdf>
- Manliguez, C., Cuabo, P., Mae Gamot, R., & Ligue, K. (2017). *Solid waste collection routing optimization using hybridized modified discrete firefly algorithm and simulated annealing a case study in davao city, philippines*. Obtenido de Microsoft Academic Search: <https://academic.microsoft.com/paper/2619589684/citedby/search?q=Solid%20Waste%20Collection%20Routing%20Optimization%20using%20Hybridized%20Modified%20Discrete%20Firefly%20Algorithm%20and%20Simulated%20Annealing%20-%20A%20Case%20Study%20in%20Davao%20City%20>
- Martínez, F. (2018). *Propuesata de rediseño de macro y micro rutas del sistema de recolección de residuos sólidos de la ciudad de tulcán*. Obtenido de Microsoft Academic Search: <https://academic.microsoft.com/paper/2904592325/related>
- Mendoza, E., & Cullay, S. (2018). *Optimización de las operaciones logísticas en las rutas urbanas de recolección de desechos sólidos en la empresa pública Municipal Gldsa Ambato*. Obtenido de Google Académico: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/9600/1/85T00504.pdf>
- Moreno, B., Muñoz, M., Cuellar, J., Domancic, S., & Villanueva, J. (2018). *Revisiones sistemáticas: definición y nociones básicas*. Obtenido de Scielo: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/piro/v11n3/0719-0107-piro-11-03-184.pdf>
- Norhafezh, K., Megawati, O., & Nurfadzliana, A. (2018). *Simulation of municipal solid waste route optimization by Dijkstra's algorithm*. Obtenido de Microsoft Academic Search: <https://academic.microsoft.com/paper/2736864190/reference>
- Oldenhage, F. (2016). *Propuesta de un programa de gestión para mejorar el manejo de los residuos sólidos en el distrito de san juan de miraflores*. Obtenido de Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81649428002>
- Pereira, T., Soares, C., & Barbosa, A. (2018). *The smart waste collection routing problem: alternative operational management approaches*. Obtenido de Google Académico: https://repositorio.iscte-iul.pt/bitstream/10071/15661/1/Manuscript_review_FINAL.pdf

- Pineda, Y. (2015). *Rediseño de rutas de recolección de residuos con el problema de ruteo de vehículos capacitados sobre arcos*. Obtenido de Microsoft Academic Search: <https://academic.microsoft.com/paper/2157573393/related>
- Pinilla, A. (2017). *Propuesta técnica para el diseño de rutas y caracterización de los residuos sólidos urbanos, como aporte a la formulación del PGIRS, en el municipio de Bahía Solano, Chocó*. Obtenido de Microsoft Academic Search: <https://academic.microsoft.com/paper/2890040406/related>
- Rivera, F. (2019). *Propuesta de rutas optimizadas para el recojo de residuos sólidos domiciliarios en el distrito de Jauja en el año 2018*. Obtenido de Google Académico: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/6132/2/IV_FIN_108_TE_Rivera_Rodriguez_2019.pdf
- Rodríguez, J., & Velasco, K. (2017). *Propuesta del ruteo para la recolección de residuos sólidos en el Municipio de la Mesa, Cundinamarca*. Obtenido de Google Académico: <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/15477>
- Romero, J., Calderón, J., & Marmolejo, A. (2016). *lineamientos base para elaborar un plan de gestión integral de residuos sólidos urbanos en Ixtlahuaca, Estado de México*. Obtenido de Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40149179006>
- Sánchez Muñoz, M. d. (2015). *¿Le apuestan los sistemas de manejo de residuos sólidos en el mundo al desarrollo sostenible?* Obtenido de Google Académico: <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263139243060.pdf>

ANEXOS

Tabla 1

Resultados de documentos sobre recojo de residuos sólidos

Autor	Año	Base de datos	Resumen
Araiza, Juan; Zambrano, Miguel	2015	Redalyc	Propusieron una mejora del sistema de recolección de los residuos sólidos urbanos empleando datos geográficos en combinación con el análisis espacial basado en un software SIG para lograr la disminución de tiempos en el recorrido, así como en el número total de puntos de toma o esquinas y consumos de combustible; disminuyendo el número total de contenedores y/o paradas de colecta.

Assaf, Ramiz; Saleh, Yahya	2017	Google Académico	Buscan reducir los costos totales incurridos en la red de recolección de desechos sólidos, logrando al mismo tiempo el más alto nivel de servicio, buscando la ruta óptima que minimice la distancia total recorrida por los camiones y, por lo tanto, los costos resultantes. Evalúan el problema modelándolo como un problema de enrutamiento del vehículo (VRP) que se optimiza a través de un algoritmo genético, observando que el tiempo de recolección se redujo de 7 horas por viaje en camión a 2,3 horas.
Braier, Gustavo; Durán, Guillermo; Marengo, Javier; Wesner, Francisco	2015	Google Académico	Reportan la aplicación de técnicas de programación matemática a la optimización de las rutas de vehículos de recolección de residuos reciclables en Morón, una municipalidad en el Gran Buenos Aires, Argentina. Siendo un caso particular del problema del cartero rural abierto en grafos mixtos, y se resuelve por medio de un modelo de programación lineal entera.
Correa Tineo, Jhanmarco Edinson	2018	Redalyc	Evalúa la calidad del servicio público domiciliario de recolección de desechos sólidos como punto de partida para establecer planes de mejora los servicios de recolección de desechos sólidos, puesto que actualmente tiene un papel importante y participativo en la vida de los ciudadanos, ya que los mismos están destinados a satisfacer sus necesidades colectivas de forma general, permanente y continua, bajo la dirección, regulación y control del Estado.
Delgado, Laura	2018	Google Académico	Buscan desarrollar distintas aproximaciones para la determinación de su frontera eficiente mediante metodología GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Process) que, combinado con otras estrategias de mejora, adaptando la filosofía de los métodos interactivos a problemas de rutas. El cual está implementado en el manejo de Sistemas de Información Geográfica (Geographical Information System, GIS).
Enciso Gómez, Diana; Antonio Cervantes, Pedro; Robles Martínez, Fabián; Durán Páramo, Enrique; Castro Frontana, Diana	2019	Microsoft Academic Search	En este trabajo se crearon bases de datos georreferenciadas con información de las estaciones de transferencia (ET) y de los SDF a los cuales llegan los RSU. Se mapearon los flujos de residuos desde las ET hacia los SDF y mediante la herramienta SIG, se generaron rutas alternativas para el transporte de los RSU hacia cada SDF disponible. El trabajo concluye con una manera de disminuir sustancialmente los costos es reorganizar las rutas para hacer más eficiente el transporte.
Gran Castro, Alberto; Bernache, Gerardo	2016	Redalyc	Analizan la gestión en la zona metropolitana de Guadalajara utilizando metodologías y herramientas de obtención de información cualitativa: cuestionario, encuesta, entrevista a actores clave y visita de campo. Observando que las capacidades del gobierno municipal resultan insuficientes y son rebasadas por las necesidades en materia de residuos, ocasionando transgresiones a los derechos ambientales colectivos y transgeneracionales.
Guamán, Ángel; Miño, Gloria; Cayan, Juan	2017	Google Académico	Presentaron el diseño de un modelo de redes que permite además de minimizar costos dentro de la operación de recolección de desechos sólidos, una adecuada distribución de las toneladas por viaje realizado; de esta manera se cumple con las expectativas que se tiene de este servicio por parte de la población del cantón Ambato.

Hui, Han; Ponce, Eva	2015	Google Académico	Este artículo analiza la contribución principal sobre el problema de enrutamiento de vehículos de recolección de residuos (WCVRP) en la literatura. Basado en una clasificación de recolección de residuos (residencial, comercial e industrial)
Hermitaño Mendoza, Mackiver	2019	Alicia	En esta investigación, el objetivo es evaluar las distancias generadas a partir del diseño de rutas, para lo que se aplicó el algoritmo colonia de hormigas para modelar la ubicación de contenedores de acuerdo a las zonas críticas y a través de ello, determinar las distancias generadas, y una implementación del mismo a través del Mosel Ive 2019 como lenguaje de programación. En la modelización de la ubicación de los contenedores con 5 nodos, se obtuvo una ruta mucho más óptima a la actual.
Herrera, Israel; Collaguazo, Gerardo; Lorente, Leandro; Montero, Yakcleem; Valencia, Robert	2015	Google Académico	Consiste en la revisión de las metodologías para la optimización de la red de recolección y disposición de Residuos Sólidos Municipales en países en vías de desarrollo, como parte de un enfoque holístico para la adecuada gestión de RSM, dentro del cual se detallan las técnicas para la optimización de las rutas recorridas por los camiones recolectores de RSM. Demostró la viabilidad y factibilidad de aplicar metodologías y los beneficios obtenidos mediante estas implementaciones en distintas localidades.
Jerez, Walter; Borja, Ely; D'Armas, Mayra	2018	Redalyc	Evalúa la calidad del servicio público domiciliario de recolección de desechos sólidos como punto de partida para establecer planes de mejora los servicios de recolección de desechos sólidos, puesto que actualmente tiene un papel importante y participativo en la vida de los ciudadanos, ya que los mismos están destinados a satisfacer sus necesidades colectivas de forma general, permanente y continua, bajo la dirección, regulación y control del Estado.
León Martínez, Yovany; Quispe Puma, Aderly	2019	Alicia	Se empleó la programación lineal para mejorar las condiciones de las rutas de recolección de residuos sólidos. A través del modelamiento gráfico sobre toma aérea del área puesta a estudio, se caracterizó la situación actual del flujo de los camiones recolectores de residuos sólidos sobre las 15 diferentes trayectorias determinadas por las autoridades municipales. Se aplicó el método del agente viajero y se recopilaban datos con un GPS para ubicar con precisión cada uno de los puntos de paso de los vehículos.
Linares, Edwar	2016	Alicia	La presente investigación tuvo como objetivo la aplicación del método del barrido para reducir los costos de recolección y transporte de residuos sólidos de la empresa QUMIR S.A.C., para lo cual se analizaron, como población muestral, los servicios de recolección y transporte de residuos sólidos prestados, y el tipo de muestreo empleado fue el no probabilístico por conveniencia.
Luna, Patrick	2018	Google Académico	Proponen un plan para la recolección y transporte de los residuos sólidos que contribuya a mejorar el manejo integral de los residuos sólidos en la ciudad de Tarapoto, concluyendo que con un eficiente diseño de rutas para la recolección de residuos sólidos y aplicados de manera piloto, se mejorará significativamente la gestión de los residuos sólidos según la percepción de la población de la ciudad de Tarapoto.

Mancera, Elizabeth; Garro, Beatriz; Rodríguez, Katya	2015	Google Académico	Aplican la meta heurística de colonia de hormigas (ACO) para resolver el problema de ruteo que se presenta al realizar la tarea de recolección de residuos sólidos en UNAM-CU, utilizando sistemas como: Sistema de hormigas (AS), Sistema de hormigas elitista (EAS), Sistema de hormigas Max-Min (MMAS) y Sistema de colonia de hormigas (ACS). Mostrando una reducción en la distancia recorrida con respecto a la ruta actual.
Manliguez, Cinmayii; Cuabo, Princesa; Mae Gamot, Ritchie; Diane Ligue, Kim	2017	Microsoft Academic Search	Se utilizó el algoritmo de luciérnaga discreta modificada: recocido simulado (MDF-SA) para resolver el problema del vendedor ambulante (TSP), el algoritmo híbrido ha producido una mejor calidad del sistema de rutas de la recolección de desechos sólidos de Davao City que el MDFA.
Martínez Villarreal, Fabián B.	2018	Microsoft Academic Search	El presente proyecto propone el rediseño de macro y micro rutas de recolección de residuos sólidos municipales; mediante la metodología de Dr. Kunitoshi Sakurai, diseñando 4 macros, divididas en 8 zonas de recolección; esto mediante la combinación de algoritmos y métodos heurísticos.
Mendoza Guaman, Edgar; Cullay Ashqui, Sergio	2018	Google Académico	El objetivo de la presente investigación se basa en minimizar los costos de las operaciones logísticas, de las rutas urbanas de recolección de desechos sólidos de la empresa pública municipal GIDSA
Norhafezh K.; Nurfadzliana; Megawati O.	2018	Microsoft Academic Search	Este estudio simuló las rutas de una recolección de residuos sólidos municipales mediante un modelo matemático del algoritmo de Dijkstra. Su objetivo era lograr la optimización de la ruta acortando la distancia recorrida por los recolectores municipales de residuos sólidos.
Oldenhage, Frederike	2016	Alicia	Propone un programa de gestión de manejo de residuos sólidos residenciales en San Juan de Miraflores, un distrito de Lima metropolitana con serios problemas de limpieza pública. Estos son resumidos en tres categorías: un trato inadecuado de los desechos con respecto al ambiente, el servicio de recojo insuficiente y una cultura de manejo de los residuos sólidos irresponsable y no sostenible.
Pereira, Tania; Soares, Carolina; Barbosa, Ana	2018	Google Académico	En la investigación, se estudia tres enfoques de gestión operativa para definir rutas óptimas dinámicas, considerando el acceso a información en tiempo real sobre los niveles de llenado de los contenedores, a través del uso de sensores que sirvan de apoyo a los enfoques propuestos.
Pineda, Yazmin	2015	Microsoft Academic Search	El objetivo del presente trabajo fue rediseñar las rutas de recolección de residuos sólidos con una visión sistémica y la aplicación de una metodología de Investigación de Operaciones. Teniendo como parte del objetivo minimizar las distancias recorridas por cada vehículo y a su vez disminuir el tiempo de viaje y el uso de combustible.
Pinilla, Angy	2017	Microsoft Academic Search	En el presente trabajo se diseñaron rutas de recolección y transporte de los residuos sólidos domiciliarios urbanos, planteando una metodología ajustable a la realidad.

Rivera, Frank	2018	Google Académico	El objetivo principal es proponer un diseño optimizado de rutas para el recojo de residuos sólidos domiciliarios en el distrito de Jauja en el año 2018. Se presenta un modelo matemático que tiene como base el método del Agente Viajero (TSP), para determinar las rutas óptimas para el recojo de residuos sólidos, dicho modelo es aplicado con el software de investigación de operaciones denominado Lingo.
Rodríguez, Johana; Velasco, Karen	2017	Google Académico	Este proyecto consiste en realizar una propuesta de ruteo para el municipio de la Mesa, Cundinamarca, por medio del método Sakurai. Esta propuesta se realiza con el fin de optimizar los recursos de la empresa de aseo que presta el servicio de recolección en el municipio y de mejorar la prestación del servicio actual para evitar que se presentes sectores del municipio sin recolección de residuos realizando una mejora en los tiempos de recolección.
Romero, José; Calderón, Juan; Marmolejo, Ana	2016	Redalyc	Utilizaron el método de la recolección mediante paradas fijas, con la implementación de contenedores fijos en puntos clave y la realización de micro rutas alrededor del territorio municipal en puntos estratégicos, donde se dificulte brindar el servicio por la lejanía por las condiciones geográficas, el desgaste de la maquinaria o la poca población que demanda el servicio.
Sánchez, María	2015	Google Académico	Analizan los sistemas de manejo de residuos sólidos en algunas ciudades de América Latina, Europa y Asia, de manera comparativa, concluyendo que utilizan los rellenos sanitarios, que no solo afectan la calidad de las aguas subterráneas, sino que también contribuyen a la proliferación de vectores (moscas, ratas, etc.) y malos olores, afectando la salud de la población. Adicionalmente, se encontró que aunque la política de reciclaje se encuentra implementada, ésta no ha sido suficiente para reducir la cantidad de residuos sólidos desechados.

Debido a la gran cantidad del total de documentos que cumplen con los criterios establecidos, hemos optado por seleccionar los que consideramos tienen mayor relevancia. Por ello, en la tabla 1, se indica la información detallada solamente de los 28 documentos que hemos utilizado para la elaboración de la revisión sistemática.