

Minería de textos aplicada a la literatura sobre el problema de enrutamiento del autobús escolar (SBRP)

Text mining applied to literature on the school bus routing problem (SBRP)

I. A. Quijano-Crisóstomo ^a, M. A. Montúfar-Benítez ^{a,*}

^aÁrea Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.

Resumen

En el presente trabajo de investigación se desarrolla una revisión de literatura aplicando un enfoque mixto. Primeramente, se tomaron en cuenta 20 artículos que abordan el problema de enrutamiento del autobús escolar (SBRP), realizados desde 1969 hasta la actualidad. Posteriormente se seleccionaron 125 artículos de la base de datos Web of Science, relacionados con la temática, para generar un archivo con los datos bibliométricos más relevantes y de esa manera realizar un clustering que permita encontrar grupos con patrones relacionados de todos los trabajos previamente seleccionados, y al final extraer diferentes conclusiones de los grupos generados. Se obtuvieron un total de 4 mapas de clústeres en donde se aprecian algunos aspectos relacionados con la actividad científica de la temática, así como también una tabla comparativa que toma en cuenta diversos criterios relevantes de lo que conlleva la resolución de la problemática.

Palabras Clave: Revisión de literatura, rutas de transporte, autobús escolar, análisis, clúster.

Abstract

In the present research work, a literature review is developed applying a mixed approach. Firstly, 20 articles that address the school bus routing problem (SBRP), carried out from 1969 to the present, were taken into account. Subsequently, a file is generated in the Web of Science database with the most relevant bibliometric data in terms of research articles and authors to carry out a clustering that manages to find groups with related patterns of all previously selected works, and at the end draw different conclusions from the groups generated. A total of 4 cluster maps were obtained where some aspects related to the scientific activity of the subject are appreciated, as well as a comparative table that takes into account various relevant criteria of what the resolution of the problem entails.

Keywords: Literature review, transport routes, school bus, analysis, cluster.

1. Introducción

El problema de enrutamiento del autobús escolar es considerado en la literatura como un problema de optimización combinatoria (Oluwadare, et al., 2018), este busca diseñar rutas para una flota de autobuses escolares con el objetivo de minimizar el tiempo y los costos (Corberan, 2002) para proveer un servicio de transporte a los diferentes estudiantes a sus respectivas escuelas o colegios en áreas tanto rurales como urbanas (Lázaro, et al., 2019).

El problema permite establecer planes para transportar de manera eficiente a los estudiantes distribuidos en un área designada a las escuelas relevantes utilizando recursos definidos (Kang, et al., 2015).

Como lo mencionan (Bektaş & Elmastaş, 2007) esta problemática es muy importante y deben emplearse formas científicas para tratarlo. Sin embargo, a menudo las rutas se planifican de forma intuitiva en la vida real, lo que puede resultar un costo excesivo para el transporte.

El SBRP es una derivación del problema de ruteo de vehículos (VRP), en el que se consideran diferentes aspectos clave en cuanto al diseño de rutas de transporte de carretera, logrando dar las bases necesarias para poder iniciar con una nueva investigación.

1.1. Formulación matemática

El SBRP pretende hallar un conjunto de rutas óptimas, las cuales serán recorridas por los autobuses escolares, para ello

*Autor para la correspondencia: montufar@uaeh.edu.mx

Correo electrónico: ian_quijano@uaeh.edu.mx (Ian Andrés Quijano-Crisóstomo), montufar@uaeh.edu.mx (Marco Antonio Montúfar-Benítez).

(Bowerman, et al, 1995) proponen una formulación matemática que contempla un enfoque multiobjetivo para dar resolución a este problema de ruteo teniendo en cuenta un entorno urbano.

$$\min \{f_1, f_2, f_3, f_4\} \quad (1)$$

$$f_1 = \sum_{i,j \in I; k \in K} c_{ij} x_{ijk} \quad (2)$$

$$f_2 = \sum_{i \in B; j \in J} c_{ij} z_{ij} \quad (3)$$

$$f_3 = \sum_{k \in K} (\sum_{i \in B; j \in J} v_j y_{ik} z_{ij}^2) \quad (4)$$

$$f_4 = \sum_{k \in K} (\sum_{i,j \in I} c_{ij} x_{ijk} - \frac{\sum_{ijk} c_{ij} x_{ijk}^2}{|K|}) \quad (5)$$

$$s. a. \quad c_{ij} z_{ij} \leq S_j, \forall i \in B; j \in J \quad (6)$$

$$z_{ij} \leq u_{ij}, \forall i \in B; j \in J \quad (7)$$

$$\sum_{i \in B} z_{ij} = 1, \forall j \in J \quad (8)$$

$$\sum_{i \in B} (y_{ik} \sum_{j \in J} v_j z_{ij}) \leq W, \forall k \in K \quad (9)$$

$$\sum_{k \in K} y_{ik} = \begin{cases} |K|, & i \in S; \\ u_i, & i \in B \end{cases} \quad (10)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ijk} = y_{jk}, \forall j \in I; k \in K \quad (11)$$

$$\sum_{j \in I} x_{ijk} = y_{jk}, \forall i \in I; k \in K \quad (12)$$

$$\sum_{i \in B} f_{ilk} - \sum_{i \in B} f_{ikl} = \sum_{j \in B} x_{ijk}, \forall i \in B; k \in K \quad (13)$$

$$f_{ijk} \leq n x_{ijk}, \forall j \in I; k \in K \quad (14)$$

$$f_{ijk} \geq 0, \forall i, j \in I; k \in K \quad (15)$$

$$u_i \in \{0, 1\}, \forall i \in B \quad (16)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\}, \forall i, j \in I; k \in K \quad (17)$$

$$y_{ik} \in \{0, 1\}, \forall i \in I; k \in K \quad (18)$$

$$z_{ij} \in \{0, 1\}, \forall i \in B; j \in J \quad (19)$$

En donde:

S: Conjunto de escuelas.

B: Conjunto de todas las paradas de autobús.

I = S ∪ B: Posibles puntos existentes.

J: Conjunto de todos los estudiantes.

K: Conjunto de todos los autobuses.

W: Capacidad de los autobuses.

c_{ij}: Distancia recorrida por el estudiante *j* camina hasta la ubicación *i*.

S_j: Distancia máxima que puede caminar el estudiante *j* hasta una parada de autobús.

v_j: Peso asignado al estudiante *j*.

N = |I|: Cantidad de puntos a rutear.

u_i: Variable binaria en donde:

$$\begin{cases} 1 & \text{si una parada de autobús es asignada a la ubicación } i \in B, \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

x_{ijk}: Variable binaria en donde:

$$\begin{cases} 1 & \text{si el punto } i \in I \text{ precede inmediatamente al punto } j \in I \text{ en la ruta } k, \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

y_{ik}: Variable binaria en donde:

$$\begin{cases} 1 & \text{si el punto } i \in I \text{ es atendido por el vehículo } k \in K, \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

z_{ij}: Variable binaria en donde:

$$\begin{cases} 1 & \text{si el estudiante } j \in J \text{ es asignado a la parada de autobús } i \in B, \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

La función objetivo f_1 está compuesta por la distancia total de las rutas, mientras que f_2 representa la distancia que caminan los estudiantes, después se tiene la función f_3 que es

el balance en la carga de los autobuses y por último f_4 que muestra el balance en la distancia que recorren (Rojas, 2015).

Las restricciones rigen diferentes aspectos del entorno en donde se va a desenvolver el sistema de transporte cómo: las paradas de autobús (7), la asignación de alumnos a cada parada (8) y viceversa (10), así como la capacidad de cada vehículo (9), de igual forma se indican cuestiones de vialidad, que en cada parada a la que se llega también se sale de ella y que un autobús solo puede visitar las paradas de su propia ruta (11) y (12), prevención de subciclos debido al uso de variables de ciclo f_{ijk} (13-15) y restricciones de integralidad (16-19).

2. Materiales y métodos

En el presente trabajo se utilizarán técnicas de minería de textos para poder encontrar información (conceptos, patrones, tendencias, etc.) importante relacionada con la producción científica de la temática del SBRP.

La minería de texto es el proceso de transformar materiales de texto en un formato para poder identificar temas y conceptos, así como también patrones, tendencias y relaciones significativas. En dicho proceso se aplican técnicas analíticas avanzadas y algoritmos de machine learning. Diversas organizaciones utilizan la minería de texto para analizar y descubrir relaciones ocultas dentro de sus datos no estructurados (IBM, 2018).

Es importante destacar a quienes han aplicado la minería de textos o técnicas de agrupamiento en revisiones literarias, dando de esa manera un enfoque innovador al estado del arte de algún tema científico, primeramente en el trabajo de (Lis-Gutiérrez, et al., 2019) se muestra un análisis bibliométrico basado en Scopus, tomando trabajos de investigación que abordan el tema de la cadena de suministro, el proceso de minería de textos fue realizado en VOS Viewer tomando como criterio la procedencia geográfica de los autores, tratando de mostrar la relevancia de la información dada por los descriptores de los artículos, también desarrollando una metodología similar se encuentran (Toloo, et al., 2022) en donde se consideran artículos de alto impacto indexados en Scopus acerca de la temática de problemas de optimización combinatoria para realizar un análisis cuantitativo con el mismo software mencionado anteriormente, enfocado en aspectos de co-ocurrencia, co-autoría y citas. Cabe mencionar que en ambos trabajos se presentan datos estadísticos y gráficos los cuales fueron proporcionados por la base de datos en donde realizaron su respectiva búsqueda.

En las publicaciones más recientes se encuentran (Saiza, et al., 2021) quienes realizan una revisión literaria sobre la gestión y optimización de carteras de proyectos en donde aplican una herramienta de análisis de datos agrupados desarrollada por la Universidad Erasmus de Rotterdam y la Universidad de Leiden, en una gran cantidad de publicaciones con el objetivo de visualizar los diferentes nexos del número de citas y grupos.

Finalmente, (Valls, et al., 2021) realizaron un estudio bastante completo sobre un total de 1287 artículos publicados desde 1936 hasta 2021 encontrados en la base de datos Scopus, utilizaron herramientas como SciMAT, VOS Viewer y Datawrapper para analizar los artículos, autores, países e instituciones más importante por volumen de producción, citas y las diferentes relaciones entre ellos.

2.1. Metodología

Para llevar a cabo esta revisión literaria se llevará a cabo una metodología (Ver Figura 1) que incorpora un análisis subjetivo convencional, con base a la lectura de 20 artículos, en la cual se identificaron criterios clave tanto de aspectos bibliográficos como también operativos, posterior a ello se compararon los diferentes criterios anteriormente seleccionados en una tabla.

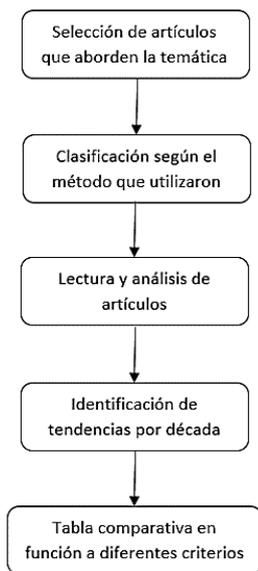


Figura 1: Metodología de la revisión literaria subjetiva.

Además, llevo a cabo una revisión objetiva aplicando técnicas de minería de datos por medio del software VOSviewer, el cual se encargó de generar mapas de clústeres con base a diferentes datos bibliométricos en relación con la co-ocurrencia de palabras clave, co-citación de autores y la producción de artículos en países en 125 trabajos de investigación de la base de datos Web of Science, con la finalidad de enriquecer el análisis de la literatura del SBRP.

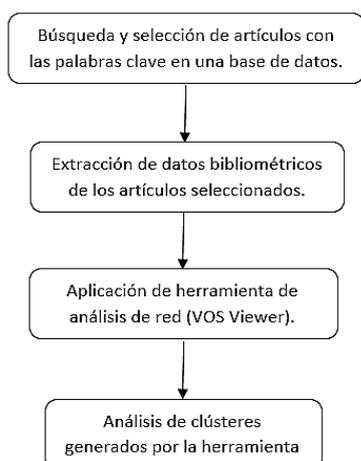


Figura 2: Metodología de la revisión literaria objetiva.

2.2. Formulación matemática de la generación de clústeres en VOSviewer

En base a la investigación de (Lulewicks-Sas, 2017) es importante destacar que el proceso de generación de mapas de clústeres realizado por el software VOSviewer se rige por la extracción de palabras clave en función de la repetitividad en las descripciones bibliográficas, utilizando un método de conteo binario. Sobre la base de datos preparada es posible generar mapas de enlace entre palabras clave, así como también la medición de la intensidad de citas de los conceptos analizados.

La determinación de las interrelaciones entre las palabras clave se llevó a cabo de acuerdo con las siguientes formulas:

$$P(A|B) = \sum_{i=1}^n p(A|B) \tag{20}$$

$$p(A|B) = \begin{cases} 1 & \text{si } A \in art_I, \wedge B \in art_I \\ 0 & \text{si } A \notin art_I, \vee B \in art_I \end{cases} \tag{21}$$

En donde:

P(A|B): Enlace de resumen entre el par de palabras clave seleccionadas (A y B).

(A|B): Enlace individual entre el par de palabras clave seleccionadas (A y B).

n: Número de palabras clave analizadas.

i: Número de artículos científicos (i = 1, 2, ..., n).

A, B: Palabras clave individuales.

art_I: Conjunto de palabras clave que caracterizan un texto científico (“tema” y “titulo”).

Ahora se considerará la generación de clúster en la visualización de densidad en base a (Van Eck & Waltman, 2009). En esta vista la densidad de elementos de un punto del mapa de clústeres se calcula individualmente para cada clúster. La densidad de elementos de un punto x para el clúster p es denotada por la función D_p(x) la cual es definida de la siguiente manera:

$$D_p(x) = \sum_{i=1}^n I_p(i) w_i K(\|x - x_i\| / (\bar{d}h)) \tag{22}$$

En donde:

I_p(i): Función indicadora en donde: $\begin{cases} 1 & \text{si el elemento } i \text{ pertenece al cluster } p \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$

x: Punto del mapa.

p: Clúster del mapa.

i: Artículo/ elemento que pertenece a un clúster p.

w_i: Peso del artículo.

K: Función Kernel gaussiana.

\bar{d} : Distancia media entre dos elementos.

h: Ancho del núcleo.

VOSviewer utiliza una función Kernel gaussiana dada por:

$$K(t) = \exp(-t)^2 \tag{23}$$

3. Revisión literaria subjetiva

Se realizó una revisión literaria, la cual contempla 20 artículos de investigación relacionados con el problema de ruteo de autobuses escolares para comprender de mejor manera la evolución que ha tenido este tema importante de Investigación de Operaciones (IO).

3.1. Precursores del SBRP.

La primera investigación del SBRP se remonta al trabajo de (Newton & Thomas, 1969). Se propone el primer modelo de ruteo utilizando un software de computadora, por medio de un método heurístico que constaba de tres algoritmos programados en FORTRAN IV. Dichos algoritmos se encargaban de diseñar las rutas de autobús para todas las escuelas que utilizan la misma flota de autobuses. El método tiene como objetivo asignar a cada autobús de la flota un conjunto de rutas óptimas. Sin duda esta propuesta ofrece una solución factible a un problema extremadamente complejo.

3.2. Aplicación de métodos heurísticos.

Dentro del SBRP han surgido diversas herramientas que ayudan a resolver este problema de ruteo. Es importante mencionar que los métodos mayormente utilizados son los heurísticos o aproximados, dichos métodos suelen ser bastante eficientes al momento de encontrar buenas opciones, aunque no necesariamente sean las más óptimas. Se han caracterizado por dos factores importantes, la rapidez del proceso y la calidad de la solución a obtener (Riojas, 2005).

De los primeros investigadores que dieron la pauta al uso de métodos heurísticos aplicados al SBRP fueron (Chen & Kallsen, 1988), proponen un sistema experto aplicado al Condado Rural de Sistemas de Autobuses Escolares en Alabama, en el cual se ejecuta un programa de control que elige las heurísticas apropiadas considerando dos aspectos importantes: la determinación de una ruta con sus respectivas paradas y que a su vez pase por cada escuela por un autobús, y la programación de tiempos de parada para cada autobús.

Tiempo después (Bowerman, et al., 1995) plantea un enfoque multiobjetivo para modelar el SBRP, de esa forma se describe un algoritmo heurístico para solucionar este problema. El artículo muestra un planteamiento matemático bastante completo y entendible, se definen claramente los elementos del modelo: función objetivo, variables de decisión y restricciones. Ya iniciando el nuevo milenio (Li & Fu, 2002) retomarían la misma problemática, pero esta vez aplicada a un caso real para los servicios de autobuses escolares en Hong Kong en los jardines de infancia y escuelas primarias, desarrollando un método heurístico de búsqueda tabú programado en lenguaje de programación Pascal que consta de un algoritmo de 5 etapas, el cual arroja la ruta óptima y los tiempos de viaje para cada autobús. Se muestra una tabla comparativa entre los tiempos de viaje existentes y los de las nuevas rutas, mostrando una notable mejoría al momento de implementar la propuesta del modelo. Diez años más tarde (Park et al., 2012) desarrollaron una propuesta interesante e innovadora desarrollando un algoritmo de carga mixta para lograr reducir la cantidad de vehículos requeridos para el sistema de transporte escolar. La carga mixta permite que los

estudiantes de diferentes instituciones educativas puedan abordar el mismo autobús escolar al mismo tiempo. Se obtuvo una mejora comparado con el primer algoritmo de carga mixta propuesto anteriormente por (Braca et al., 1997), quienes fueron precursores de este subproblema del SBRP, mencionando que la carga mixta puede beneficiar con una mayor flexibilidad en el servicio y un ahorro de costos considerable para la institución educativa en donde se aplique. La mejora fue gracias a la flexibilidad que posee el nuevo algoritmo ya que puede convertir cualquier plan de carga simple a un plan de carga mixta utilizando un operador de reubicación simple.

En las publicaciones más recientes aplicando métodos heurísticos se encuentra la aportación de (Kang, et al 2015) definiendo al SBRP como un problema estocástico en el cual aumentan los dominios de búsqueda de forma exponencial, es por ello que se torna más difícil obtener soluciones utilizando un método exacto, dicho esto, los investigadores se vieron en la necesidad de desarrollar un algoritmo genético derivado de meta-algoritmos heurísticos, dicho algoritmo fue probado frente a diversos problemas para identificar su desempeño y practicidad y ha obtenido de igual manera buenos resultados. Tiempo después (Qian & Melachrinoudis, 2020), se centran en uno de los subproblemas del SBRP, el cual ha tenido muy poca relevancia en los trabajos de investigación relacionados con este tema, el ajuste de la hora del timbre de la escuela, ellos mencionan que el cambio en la hora de la campana de la escuela podría ser un enfoque rentable y práctico para mejorar el sistema de transporte de autobuses escolares.

3.3. Aplicación de métodos metaheurísticos.

Como tendencia en los últimos años se ha encontrado la aplicación de métodos metaheurísticos para resolver el tema de SBRP, los cuales son diseñados para resolver problemas de optimización de mayor complejidad con un gran número de objetivos, variables y restricciones, en donde los heurísticos clásicos no son efectivos, cabe mencionar que estos métodos están compuestos por combinaciones de diferentes métodos heurísticos.

El primer trabajo revisado fue publicado por (Pérez-Rodríguez & Hernández-Aguirre, 2016), en donde se usa un modelo utilizando probabilidad para abordar la complejidad combinatoria del enunciado del problema, en donde se obtienen diferentes resultados comparados con cualquier otro algoritmo genético. El objetivo de este modelo es reducir los tiempos de viaje de un conjunto de autobuses que transportan a una escuela. La contribución de este trabajo es proponer una alternativa para resolver problemas de representación basados en permutaciones con aplicación logística. En ese mismo año (Geem, 2016) resuelve el problema con un algoritmo metaheurístico denominado, Algoritmo de Búsqueda de Armonía, dicho algoritmo es inspirado en la improvisación musical del género musical jazz, y en analogía con el algoritmo evolutivo popular (algoritmo genético), la búsqueda se conceptualiza utilizando el proceso musical de búsqueda para un perfecto estado de armonía. El algoritmo se aplicó a un escenario de diez autobuses de una escuela con la demanda real de los estudiantes que viajan diariamente en el autobús escolar. Su principal objetivo es minimizar el número de autobuses operativos y el tiempo de viaje de todos los autobuses

considerando a su vez restricciones de ventana de tiempo que generan costos de sanción, así como también capacidad.

El siguiente año (Samadi-Dana et al., 2017) publican el artículo que surge debido a que en los modelos anteriores del SBRP siempre tratan de incluir todos los objetivos y limitaciones como sea posible para que el modelo sea lo más apegado a la realidad, sin embargo, nunca consideran incertidumbre en los parámetros. Para ello deciden emplear un modelo de optimización robusta con incertidumbre en los tiempos asociados con el traslado de una parada de autobús, además de una metodología de solución basada en un algoritmo de recocido simulado (SA), el cual es metaheurístico y es utilizado para problemas de optimización global en un espacio de búsqueda grande.

Un año después (Miranda, 2018) retoma la investigación del subtema del problema de carga mixta pero ahora aplicado a instancias reales de gran escala, diseñando diferentes metaheurísticas para poder atacar escenarios de una magnitud extensa que engloban grandes ciudades. Los resultados corroboran que el enfoque de carga mixta reduce exponencialmente los costos de transporte.

Por último, entre los trabajos más actuales relacionados con el SBRP utilizando métodos metaheurísticos se encuentra un artículo realizado por (Banerjee & Smilowitz, 2019), en el cual se aplica un algoritmo recursivo utilizado en Inteligencia Artificial (IA) a través de un modelo de decisión minimax, que no solo minimiza la cantidad de autobuses requerida, también incorpora consideraciones adicionales con la equidad y la eficiencia en los tiempos de traslado y los horarios de los autobuses, mostrando un enfoque innovador a la resolución de dicho problema.

3.4. Aplicación de métodos exactos.

Los métodos exactos de optimización tienen como característica principal el uso de técnicas, analíticas o matemáticas, asegurando la obtención de una solución óptima, si es que ésta existe. Cabe mencionar que en el tema de SBRP casi no se encuentran artículos que aborden este tipo de métodos ya que normalmente las problemáticas abordadas son bastante extensas y los softwares diseñados para resolver modelos con métodos exactos tardarían más en encontrar una solución, es por ello que la mayoría de los investigadores optan por los métodos heurísticos y metaheurísticos que son más flexibles.

Dentro de los artículos revisados los primeros que abordaron métodos exactos fueron (Bektaş, Elmastaş, 2007) quienes resuelven el SBRP con un método de solución exacta por medio de un modelo de Programación Entera que considera restricciones de capacidad y de distancia, teniendo como objetivo minimizar las distancias recorridas de cada autobús. Algo que es importante mencionar, es cuando se agrupan a los estudiantes de la escuela por región, para que el modelo elija la ruta en donde genere mayor beneficio a la comunidad estudiantil. Para desarrollar el modelo se utiliza el software CPLEX 9.0 el cual es muy utilizado para resolver problemas de Programación Lineal.

Se propone un modelo matemático compuesto de cinco procedimientos para llegar a una solución óptima exacta del problema SBRP con datos de instancias pequeñas, la ruta óptima será la que demore menos tiempo, suponiendo que cada

autobús tiene fijos sus puntos de recogida, generando muchas rutas posibles para un solo autobús, el algoritmo se enfoca en obtener una ruta óptima para cada autobús en términos de tiempo (Manunbu, et al., 2014).

Dentro del diseño de servicios de transporte universitarios se encuentra un modelo de programación lineal multiobjetivo propuesto por (Ezquerro et al., 2016) para eficientar el servicio de transporte escolar en la Universidad de Cantabria en España. Cómo objetivos el modelo busca minimizar costos de transporte y el tiempo de viaje para los estudiantes. Cabe resaltar que este trabajo está apegado a las políticas de planificación del transporte ya que busca apoyar con la toma de decisiones de la institución educativa, buscando mejoras en aspectos económicos y sociales.

Cómo publicaciones más recientes se encontraron un par de artículos que resuelven la problemática con métodos exactos. La primera propuesta fue realizada por (Martínez & Viegas, 2020) quienes diseñan e implementan un servicio de autobuses escolar bastante innovador y de alto nivel para Lisboa en donde se utiliza Programación Lineal Entera Mixta (MILP). La solución divide al problema en dos pasos: el primer paso identifica los puntos de concentración más adecuados de los estudiantes, y el segundo que calcula las rutas óptimas que sirven a esas paradas. Más adelante se proponen modelos de optimización de los tiempos de horario escolar bajo una sola carga de autobús, generan varios escenarios para observar el comportamiento de los diferentes horarios de timbre escolar. Se enfocan en minimizar el número de autobuses, mientras se asignan tiempos de horario escolar óptimos (hora de inicio y finalización) a cada escuela utilizando un Modelo de Programación Lineal Entera Mixta. Se realizan varios experimentos utilizando un solucionador de optimización en los modelos propuestos y probando varios datos de referencia.

Por último, en las publicaciones más recientes se encuentra un artículo publicado por (Zeng et al., 2020), en donde se plantea una nueva manera de resolver los problemas de transporte escolar denominada: “Problema de Programación de Autobuses Escolares”, SBSP, utilizando un modelo de Programación Lógica Inductiva que se encarga de optimizar los horarios de inicio de clases y los tiempos de operación de los autobuses para minimizar el costo de transporte. El objetivo es minimizar la cantidad de autobuses para atender todas las rutas de autobús, de modo que cada ruta llegue en un período de tiempo antes de que comiencen las clases.

3.5. Revisiones literarias anteriores.

Se observan algunas revisiones literarias las cuales han sido de gran importancia para poder observar los cambios y las diferentes técnicas que se han propuesto al paso de los años, la primera revisión exhaustiva del SBRP, fue abordada por (Park & Kim, 2009) en la cual analizan 27 artículos de investigación relacionados con la temática anteriormente mencionada, dentro de la revisión se puede encontrar un resumen de los diversos supuestos, restricciones, métodos de solución y muchas clasificaciones en relación con las características del problema. La revisión literaria más reciente fue realizada por (Ellegood et al., 2019) documentando las tendencias recientes en la investigación, también algo importante que destaca el artículo es que muestra las diversas oportunidades que puede tener la investigación en el futuro. Este trabajo revisa 64

publicaciones analizando profundamente el tipo de problema, así como también sus características principales y su enfoque de solución.

3.6. Tendencia por década.

El SBRP ha sido una problemática abordada desde 1969 con el primer artículo de (Newton & Thomas, 1969), esto quiere decir que lleva más de cinco décadas evolucionando, por lo que es importante indagar en que época ha tenido un mayor impacto el problema. En esta sección se tomaron como parámetro los artículos revisados en el presente trabajo de investigación.

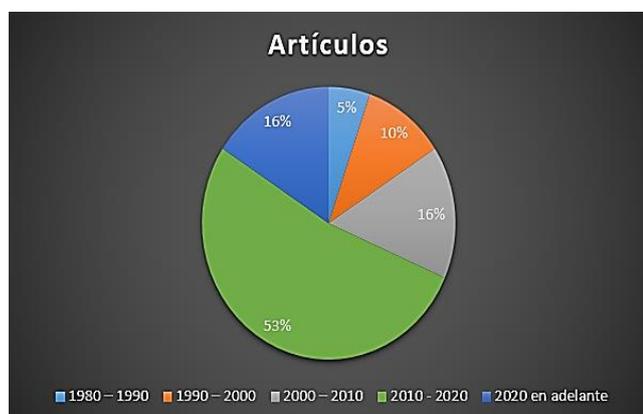
3.7. Artículos publicados por década.

Primeramente, se analizaron cuantos artículos han sido publicados por década, desde 1970 hasta el 2020 (ver Tabla 1), de esa forma también se obtuvieron resultados cuantitativos y una representación gráfica que ayuda a comprender mejor la tendencia del tema en cuestión (ver Grafica 1).

Tabla 1: Número de artículos revisados por década.

Periodo (década)	Número de artículos publicados
1970 - 1980	1
1980 - 1990	1
1990 - 2000	2
2000 - 2010	3
2010 - 2020	10
2020 en adelante	3

Como se puede observar dentro de la literatura revisada, la investigación ha tenido un mayor auge en los últimos veinte años, especialmente en la década 2010 – 2020, esto ha venido evolucionando en parte al surgimiento de nuevos métodos de optimización como la metaheurística que desarrolla algoritmos más eficaces y que puede buscar una solución en una región factible más extensa, y que obviamente innovan la manera en que esta problemática puede ser resuelta. También los métodos exactos han ido revolucionando su capacidad y hoy en día se pueden tener soluciones óptimas exactas en modelos matemáticos complejos.



Gráfica 1: Porcentaje de artículos revisados por década.

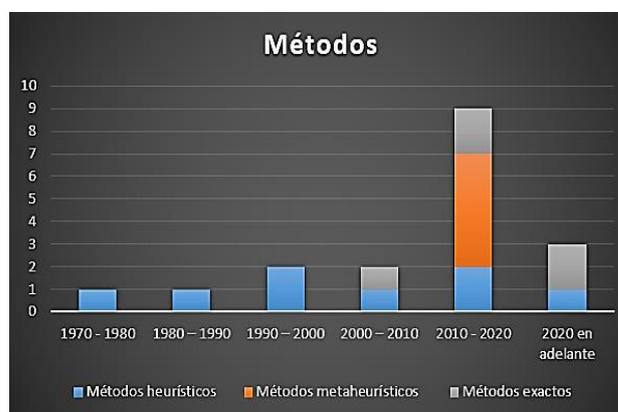
3.8. Métodos utilizados por década.

Otro aspecto importante que se puede observar son los diferentes métodos utilizados en cada década para observar las preferencias que tenían los autores y de igual manera observar los diferentes cambios que han tenido al paso del tiempo (ver Tabla 2).

Tabla 2: Número de métodos utilizados en los artículos revisados por década.

Periodo (década)	Métodos heurísticos	Métodos metaheurísticos	Métodos exactos
1970 - 1980	1	Ninguno	Ninguno
1980 - 1990	1	Ninguno	Ninguno
1990 - 2000	2	Ninguno	Ninguno
2000 - 2010	1	Ninguno	1
2010 - 2020	2	5	2
2020 en adelante	1	Ninguno	2

Dentro de los artículos revisados, los métodos que más se han utilizado para dar resolución al SBRP son los heurísticos, ya que al ser los primeros en implementarse en la investigación poseen una ventaja sobre los otros dos predominando durante 3 décadas, hasta que a partir del año 2000 se empezaron a introducir los métodos exactos y en la siguiente década lograron marcar mayor tendencia los métodos metaheurísticos. Durante comienzos de la última década se observa que la tendencia cambió y los métodos exactos son los más utilizados en este tema (ver Grafica 2).



Gráfica 2: Tendencia de los diferentes métodos utilizados en los artículos revisados por década.

3.9. Tabla comparativa.

En esta sección se realiza una clasificación basada en las diferentes características observadas del problema. Para realizar un análisis más profundo se consideran criterios importantes a los cuales se le asignan las consideraciones pertinentes para obtener una clasificación más amplia (ver Tabla 3).

Cabe mencionar que la tabla muestra diferentes acotaciones en función al criterio y la consideración seleccionada para el artículo en cuestión, también el orden de los autores es cronológico con el fin de observar la evolución que ha tenido el SBRP (ver Tabla 4).

3.10. Criterios y consideraciones.

Para tener una mejor comprensión de la tabla comparativa, es importante definir los diferentes criterios y consideraciones que se están tomando en cuenta para su elaboración.

Tabla 3: Criterios y consideraciones de la tabla comparativa con sus respectivas acotaciones.

Criterio	Consideraciones
Número de escuelas	Una escuela Varias escuelas
Autores	Número de autores que tiene el artículo
Citas	Número de citas que tiene el artículo
Tamaño del problema	Número de paradas de autobús (PA) Número de estudiantes (ES) Asignable (AS) Número de escuelas (SC)
Carga Mixta	Si No
Flota	HO (Homogénea) HT (Heterogénea)
Método	EX (Exacto) HE (Heurístico) MT (Metaheurístico) RL (Revisión Literaria)
Objetivos	Número de objetivos
Restricciones	Número de restricciones
Entorno	UR (Urbano) RU (Rural)
Otros	No específica (N/E) No aplica (N/A)

Primeramente, se analiza si el autor está considerando una sola escuela o varias escuelas, posteriormente es importante saber algunos aspectos bibliográficos para ello se incluyen el número de autores y citas que ha tenido cada artículo hasta la fecha para saber que tanto impacto ha generado la aportación de cada autor. También se debe tomar en cuenta que algunos autores no aplican cómo tal su propuesta en algún escenario real, y es por ello que su modelo se vuelve teórico y asignable a cualquier número de estudiantes o paradas.

Después se mencionarán aspectos en relación al sistema de transporte en el que se implementó el modelo con el fin de analizar diferentes escenarios en los cuales se puede relacionar el SBRP. Un aspecto a considerar es el número de paradas consideradas o de igual manera el número de estudiantes contemplados en el modelo para saber la magnitud del problema, otro es la carga mixta, considerada por primera vez por (Braca et al., 1997) la cual describe que si el sistema de transporte escolar puede subir o no a estudiantes de diferentes instituciones educativas al mismo tiempo, también un criterio importante que menciona (Samadi-Dana, et al., 2017) es el especificar si la flota es homogénea (todas las unidades de transporte poseen las mismas características) o en su caso contrario heterogénea.

Se consideran aspectos del modelo matemático, entre ellos se encuentra el método de resolución a utilizar (heurístico, metaheurístico o exacto) y el número de objetivos y restricciones formuladas para encontrar la solución.

Finalmente, es importante mencionar en qué entorno está adentrada la problemática y así, tener un panorama más amplio y completo de la clasificación, por lo que se tomarán en cuenta dos categorías, urbana y rural.

4. Revisión literaria objetiva.

Para la segunda etapa de la revisión literaria, se realizó un análisis bibliométrico generando mapas de clústeres para posteriormente analizar las diferentes relaciones que se encuentren entre los elementos, dichos mapas se crearon tomando en cuenta dos criterios bibliográficos muy importantes: co-citación y co-ocurrencia.

La co-citación se emplea cuando un documento cita otros dos, dejando abierta la probabilidad de que ambas fuentes estén relacionadas por su contenido, mientras que la co-ocurrencia es la relación de dos o más términos en un solo texto, es decir, si un término A y B aparecen juntos en una frase, es decir, se encuentran co-citados, es probable que tengan una relación semántica (Rodanet, 2022).

4.1. Búsqueda, selección y extracción de datos bibliométricos.

Primeramente, se realizó una búsqueda de artículos de investigación en la base de datos Web of Science utilizando las palabras clave del tema: “School Bus Routing Problem”.

Fueron seleccionados dentro de la base de datos un total de 125 artículos que abordan la temática para poder generar un archivo .txt con diferentes aspectos bibliográficos relevantes cómo: tipo de publicación, autores, título del artículo, nombre de la revista, volumen, año, título de las series del libro, paginas, resumen, palabras clave, citas, entre otros.

4.2. Creación de mapas de clústeres.

VOSviewer es un software que sirve para crear, visualizar y explorar mapas de clústeres basados en datos bibliométricos mediante diferentes bases de datos. Cabe mencionar que esta herramienta también se encarga de generar enlaces de co-autoría, co-ocurrencia, citación, acoplamiento bibliográfico o co-citación (Van Eck & Waltman, 2018).

4.3. Interpretación de mapas.

Antes de crear los mapas, es importante tener en claro algunos conceptos clave que nos servirán de guía para poder comprender de una mejor manera lo que se está generando.

Tamaño de etiqueta: en la interfaz de visualización, los elementos del mapa son representados mediante su etiqueta, es decir, su nombre, y también por un círculo. El tamaño de la etiqueta y del círculo se determina mediante la importancia que tenga el artículo. Entre más impacto tenga el artículo, más grande será la representación de su nombre y su círculo en el mapa.

Color: El color de un elemento está determinado por el grupo o clúster al que pertenece el elemento.

Líneas: Las líneas entre elementos representan enlaces. También cabe destacar que cuánto más fuerte es vínculo entre dos elementos, más gruesa es la línea que los une.

Distancia: La distancia entre dos elementos en la visualización también indica un nivel en la relación de los elementos.

Se ingresó el archivo .txt para poder crear diferentes clústeres en función a los criterios antes mencionados (Ver Figura 3).

Autor(es) y año de publicación	Autores	Citas	Número de escuelas	Tamaño del problema	Carga Mixta	Flota	Método	Objetivos	Restricciones	Entorno
Newton & Thomas, (1969)	2	104	Una escuela	50 – 80 PA	No	HO	HE	N/E	2	UR
Chen & Kallsen, (1988)	2	16	Varias escuelas	AS	No	HO	HE	3	8	RU
Bowerman, Hall & Calamai, (1995)	3	172	Una escuela	138 ST	No	HO	HE	4	14	UR
Braca, Bramel, Posner & Simichi-Levi, (1997)	4	69	Varias escuelas	838 PA	Si	HO	HE	1	5	UR
Li & Fu, (2002)	2	100	Una escuela	86 ST 54 PA	No	HT	HE	4	8	UR
Bektaş, & Elmastaş, (2007)	2	1	Una escuela	519 ES	No	HO	EX	2	11	UR
Park, & Kim, (2010)	2	254	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Park, Tae & Kim (2012)	3	77	Varias escuelas	200 – 2000 PA	Si	HO	HE	1	16	UR
Manunbu, Mujuni & Kuznetsov, (2014)	3	9	Varias escuelas	124 ST 16 PA	No	HO	EX	1	4	UR
Kang, Kim, Felan, Choi & Cho, (2015)	5	24	Varias escuelas	26 ES	Si	HO	HE	3	4	RU
Pérez-Rodríguez & Hernández-Aguirre, (2016)	4	5	Una escuela	5 – 80 PA 25 – 800 ST	No	HO	MT	N/A	N/A	N/E
Geem, (2016)	1	30	Una escuela	10 PA	No	HO	MT	2	3	UR
Ezquerro, Moura, Portilla, & Ponce, (2016)	4	16	Varias escuelas	384 ST	Si	HO	EX	1	10	UR
Samadi-Dana, Paydar, & Jouzdani, (2017)	3	2	Una escuela	15 - 22 ST	No	HO	MT	1	11	UR
Miranda (2018)	1	29	Varias escuelas	337 – 569 SC	Si	HT	MT	1	25	UR
Banerjee & Smilowitz, (2019)	2	8	Varias escuelas	15 – 30 SC	No	HO	MT	1	4	UR
Martínez & Viegas, (2020)	2	13	Varias escuelas	342 ST	Si	HO	EX	1	19	UR
Qian & Melachrinoudis, (2020)	2	N/E	Varias escuelas	335 – 28175 ST	No	HO, HT	HE	3 (HT) 3 (HO)	12 (HT) 9 (HO)	UR
Zeng, Chopra & Smilowitz, (2020)	3	5	Varias escuelas	10-100 SC	Si	HO	EX	1	7	UR

Tabla 4: Tabla comparativa que considera diferentes criterios con relación a los artículos del SBRP.

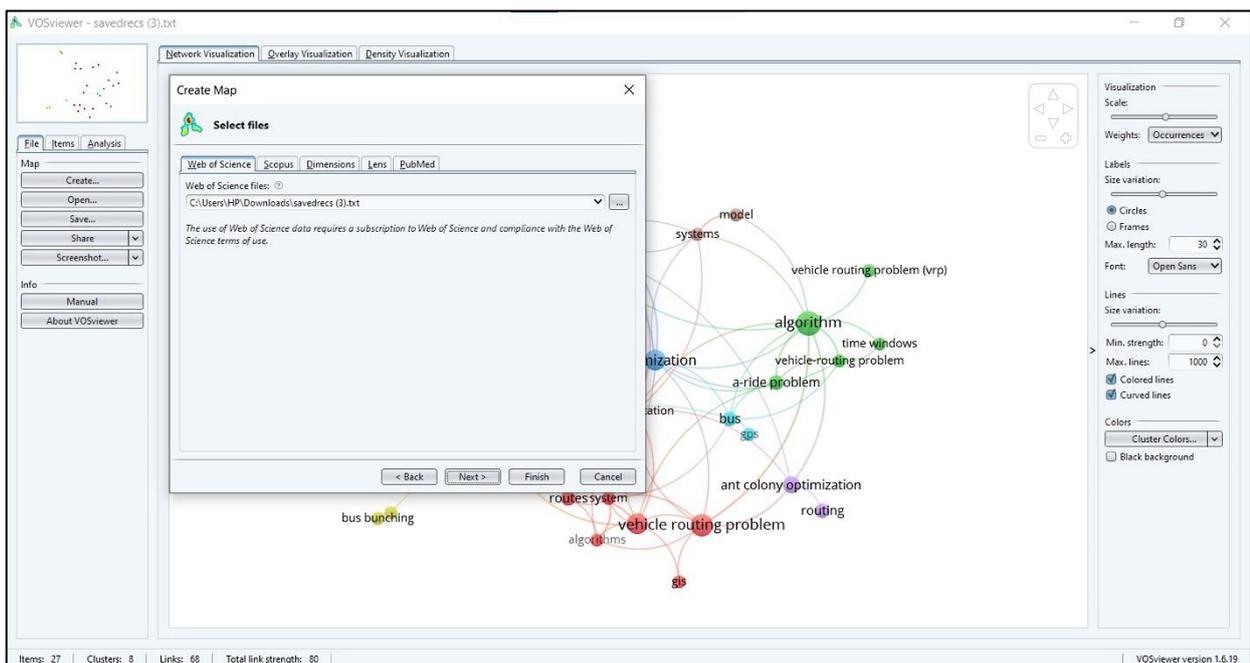


Figura 3: Interfaz de VOSviewer creando un mapa de clústeres con un archivo de tipo .txt

En el tercer clúster se muestra la palabra central de todo el mapa y la más importante de este grupo, la cual es: “optimización”, la cual tiene enlaces con todos los clústeres generados. Esta es una palabra de gran relevancia ya que para poder diseñar y planificar rutas de transporte considerando diferentes variables y restricciones en el medio donde se emplea el caso de estudio, es necesario formular matemáticamente un modelo de optimización para dar solución a la problemática en cuestión.

Dentro del clúster se puede observar el concepto de: “optimización por colonia de hormiga”, el cual es un algoritmo de optimización heurístico utilizado en la IO (Investigación de Operaciones) para poder encontrar los mejores caminos en rutas. Dicho algoritmo está basado en el comportamiento del insecto que lleva su nombre.

Para el cuarto clúster de tiene cómo palabra principal: “algoritmo genético” que es uno de los métodos de optimización más utilizados en las investigaciones del SBRP debido a la flexibilidad que tiene para poder resolver problemas de mayor complejidad.

También en ese mismo conjunto se encuentran un par de conceptos relacionados ya que tienen que ver con aspectos de vialidad, “aglomeración de autobuses” y “transporte público”, estas palabras clave cobran sentido al momento de analizar las diferentes problemáticas con las que conlleva un ruteo vehicular.

A partir del quinto clúster los conjuntos de palabras son muy pequeños, teniendo solo dos elementos, en el presente conjunto se muestra repetido el concepto principal, “optimización por colonia de hormigas”, y solo muestra una relación con la palabra: “ruteo”, lo cual ya se había explicado anteriormente.

Posteriormente en el siguiente clúster se encuentran dos conceptos que no muestran tanto impacto en el mapa como los anteriores, “autobús” y “GPS (Sistema de Posicionamiento Global)”. Cabe mencionar que se encuentran enlazados debido a que el GPS es utilizado para una de las etapas más importantes de la administración del transporte, el monitoreo (Ghani, et al., 2022).

El séptimo clúster es el menos relevante debido a que no muestra conceptos clave relacionados con la temática en cuestión.

Finalmente se tiene el último clúster del mapa mostrando dos conceptos de gran importancia en la ingeniería, los cuales son: “sistema” y “modelo”, la relación entre ellos es amplia ya que en cualquier rama de la ciencia se utilizan modelos para representar sistemas reales, y así poder tener un panorama más amplio de la situación de interés ya sea para enriquecer una investigación o para tomar mejores decisiones a nivel organizacional.

4.6. *Tendencia de las palabras clave.*

VOSviewer ofrece una función denominada visualización de superposición, dicha función permite observar las diferentes tendencias de los elementos en los mapas de clústeres mediante diferentes colores, a los que se le asignan años. Los colores predeterminados van del morado (año más antiguo), al azul rey, después al verde y finalmente al amarillo (año más reciente).

Tomando como referencia el mapa generado anteriormente se analizarán la evolución que han tenido los conceptos clave de la investigación al paso del tiempo utilizando la visualización de superposición (ver Figura 5).

Se comenzará por analizar los conceptos de menor tendencia en el mapa. Están asignados con el color morado, los conceptos de: “Vehicle Routing Problem (VRP)”, “Sistemas” y “SOA (Arquitectura Orientada a los Servicios)”, esto quiere decir que estas palabras clave tuvieron un auge en el año 2013, en base a la escala que generó el software.

Más adelante, se encuentran los conceptos: “modelo”, “planificación de rutas”, “arquitectura” y “transportación”. Estas palabras marcaron una tendencia relevante durante el año 2014 y se fueron asignadas con el color azul rey en la visualización del mapa.

Al principio del año 2015 se tienen en tendencia las palabras clave: “GPS”, “rutas” y “ruteo”, cabe destacar que son palabras que muestran una relación muy fuerte en cuanto a la temática de sistemas de transporte, ya que el GPS, es una herramienta de gran utilidad para el diseño de rutas vehiculares. A finales del mismo año se tiene cómo tendencia en los artículos: “algoritmo” y “algoritmo por colonia de hormigas”, los cuales tienen una amplia relación entre sus significados.

Comenzando el año 2016 se observan cuatro conceptos importantes: “diseño”, “optimización”, “algoritmo genético” y “ventana de tiempos”. Estos conceptos poseen un nexo semántico bastante fuerte dentro de la literatura del SBRP, ya que el diseño de algoritmos genéticos es uno de los métodos más utilizados para optimizar el modelo matemático debido al número de variables de decisión, el número de objetivos y las diferentes restricciones observadas. Tiempo después durante la mitad y el final del mismo año se tienen en tendencia las palabras: “sistema”, “algoritmos”, “autobuses” y “optimización por colonia de hormigas” son conceptos un tanto repetitivos pero que sin duda deben de ser tomados en cuenta para abordar esta temática.

Por último, se muestran los conceptos que muestran la tendencia más actual en el mapa de clústeres, se puede inferir que son palabras que van más enfocadas al tipo de problemática en vez del método de resolución a utilizar, la lista de conceptos es la siguiente: “transporte público”, “aglomeración de autobuses”, “problema de viaje”, “problema de enrutamiento de vehículos (VRP)” y “problema de enrutamiento del autobús escolar (SBRP)”.

Para comprender de mejor manera la evolución que han tenido los conceptos al paso de los años, se procede a crear una línea del tiempo que va desde el año 2013 hasta el 2016 (ver Figura 6).

4.7. *Mapa de clústeres de autores.*

Para empezar, se reestablece una nueva configuración en el software para crear un nuevo mapa de clústeres que considere la co-citación entre autores que han investigado en el tema del SBRP y así analizar las diversas relaciones que existen entre ellos.

Tomando los datos bibliométricos obtenidos por la base de datos, el software creó un mapa con un total de 12 elementos agrupados en 3 clústeres (ver Figura 7), cada clúster presenta un conjunto de autores que presentan una relación entre ámbitos de citación.

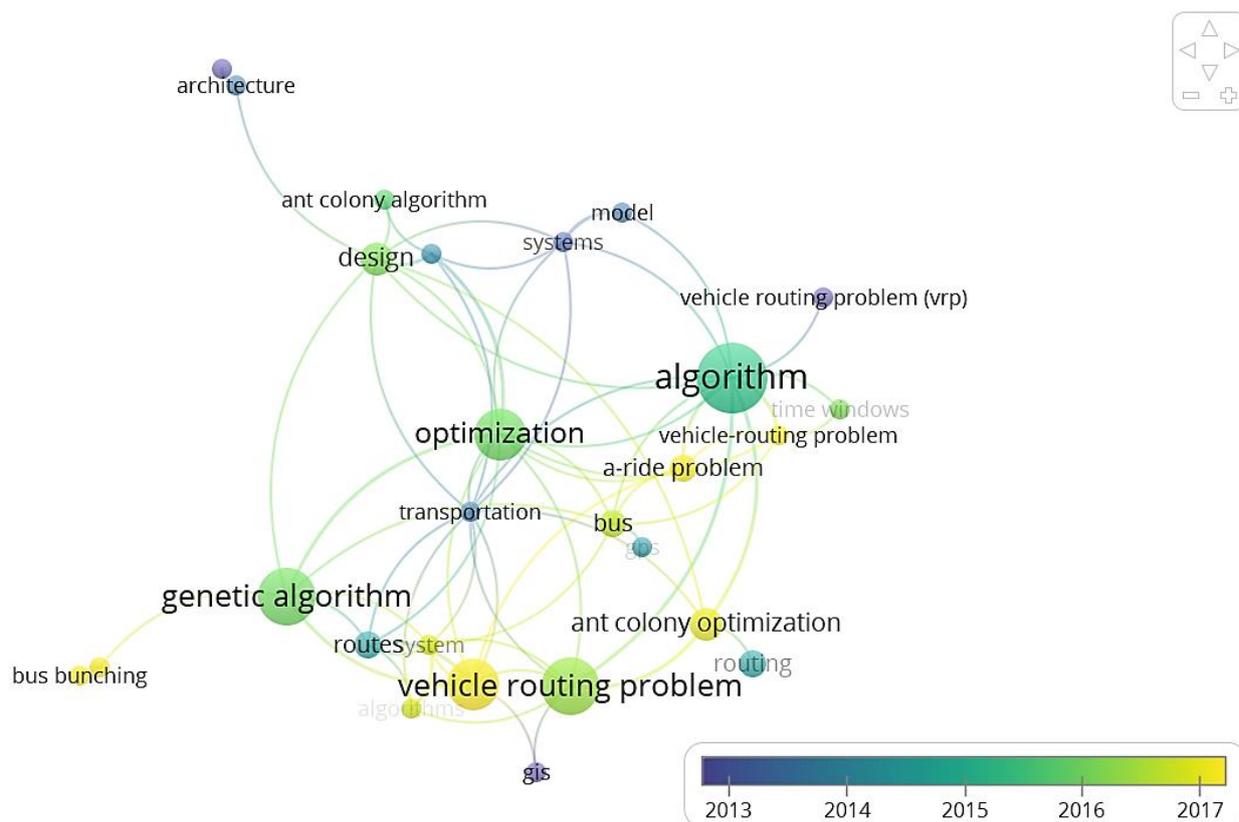


Figura 5: Visualización de superposición del mapa de clústeres que indica la co-ocurrencia de palabras clave creado en VOSviewer.



Figura 6: Línea del tiempo de tendencia entre palabras clave generadas por el mapa de clústeres que indica la co-ocurrencia de palabras clave.

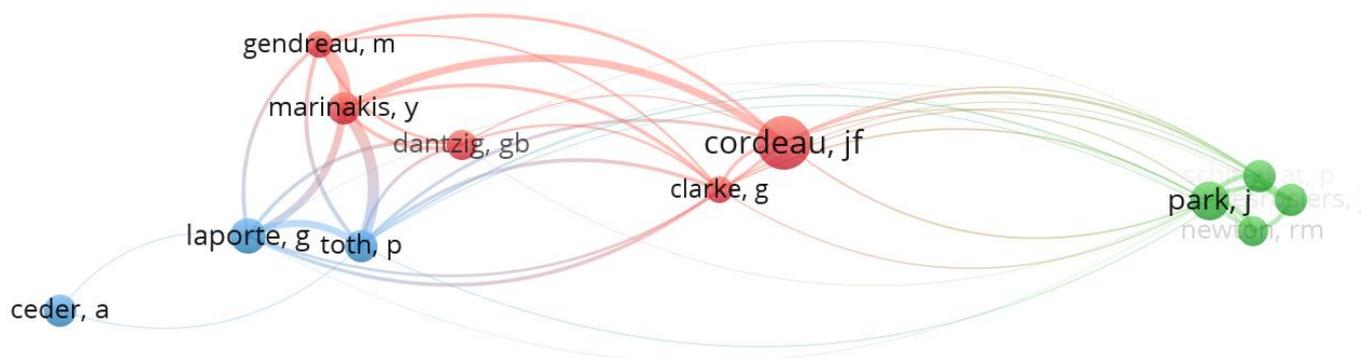


Figura 7: Mapa de clústeres que indica la co-citación entre diferentes autores que han abordado la temática del SBRP creado en VOSviewer.

Para tener una mejor comprensión del mapa mostrado anteriormente se procede a ordenar a los diferentes autores en la siguiente tabla (ver Tabla 6).

Tabla 6: Conjuntos de autores por cada clúster generado en el mapa.

Clúster	Autores identificados
Clúster No. 1 (Rojo)	Clarke, G., Cordeau, J., Dantzig, G., Gendreau, M., & Marinakis, Y.
Clúster No. 2 (Verde)	Desrosiers, J., Newton, R., Park, J., & Schittekat, P.
Clúster No. 3 (Azul)	Ceder, A., Laporte, G., & Toth, P.

4.8. Análisis de clústeres del mapa de autores.

Primeramente, se tiene el primer clúster, el cual está marcado con el color rojo, se puede observar que es el conjunto con mayor número de elementos ya que cuenta con 5 autores. La relación de co-citación es bastante fuerte entre los autores Gendreau, Marinakis y Dantzig, otro aspecto que se puede inferir del conjunto es que el impacto de estos autores es moderado debido al tamaño de su etiqueta, de igual manera comparte un gran nexo con los autores Laporte y Toth que pertenecen al clúster azul.

En la parte central del mapa se tienen a los autores con mayor importancia en el mapa, Cordeau y Clarke, estos dos autores tienen una conexión con todos los clústeres generados, ya que poseen un total de 14 redes con los demás elementos del mapa, esto significa que tienen una relación de citas muy importante dentro de los artículos seleccionados en la base de datos.

Posterior a ello se tiene el segundo clúster asignado con el color verde, este clúster menciona a dos autores que son muy relevantes dentro de las investigaciones del VRP y SBRP debido a que fueron precursores en estos temas, Park y Newton, estos autores muestran un gran peso dentro del mapa en función del tamaño de su etiqueta, y también tienen relación

también poseen una relación considerable con diferentes autores de los otros grupos. Finalmente se tiene al tercer clúster, que muestran a dos autores ya mencionados anteriormente, Laporte y Toth, este par de autores poseen el mayor número de relaciones de co-citación en el mapa con un total de 17 nexos, y por último se tiene al autor Ceder que es quién tiene menor relación con los demás autores del mapa.

4.9. Mapa de clústeres de países.

Se procede a crear un último mapa de clústeres que muestre la producción de artículos por cada país. Cabe mencionar que el software considera el país de la revista en donde se publicó cada artículo de investigación.

El programa tomó 110 artículos de la base de datos y se generó un clúster por cada país, teniendo un total de 10 países en el mapa (ver Figura 8). Cada clúster representa la densidad de la producción de artículos, para lograr una mejor comprensión del mapa se mostrará una tabla en donde contiene el número de artículos publicados por cada país (ver Tabla 7).

Tabla 7: Número de artículos publicados por cada país.

País	Número de artículos publicados
China	52
Japón	19
Estados Unidos	8
India	7
Inglaterra	4
Francia	4
Grecia	4
Italia	4
Australia	4
Singapur	4

4.10. Análisis de clústeres del mapa de países.

Cómo se puede observar en el mapa el país que más producción científica genera en la temática del SBRP es China, marcando una amplia diferencia con los demás países teniendo un total de 52 artículos en la base de datos Web of Science.

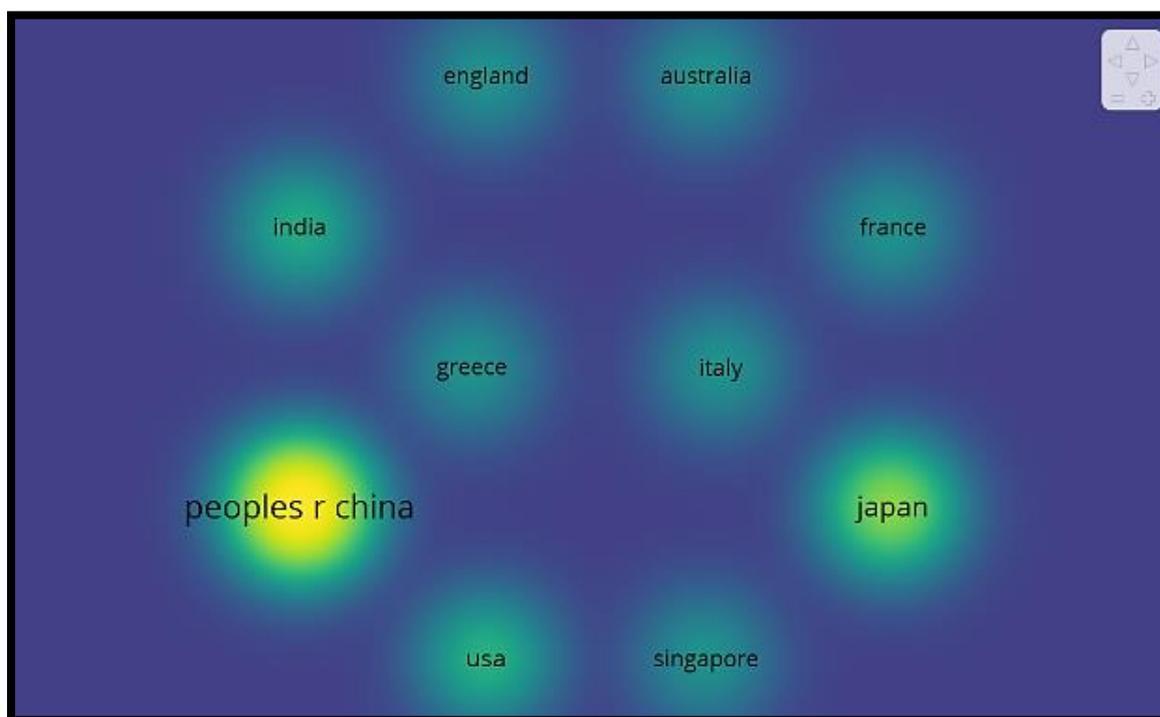


Figura 8: Mapa de clústeres que indica la densidad de actividad científica de la temática del SBRP en diferentes países creado en VOSviewer.

Cabe destacar que China empezó a indagar en la temática desde los inicios de la investigación en el año de 1970, y por ende lograr tener una amplia ventaja sobre los demás países.

Otros países que se han interesado demasiado en la problemática son Japón quien ha publicado 19 artículos en base a la búsqueda realizada seguido de Estados Unidos (quien también fue precursor) e India que solo tienen 8 y 7 respectivamente, como se muestra en la Figura 8.

Finalmente, con los países restantes se mantiene lineal la producción de artículos del SBRP ya que tienen apenas 4 artículos contabilizados, estos países son Francia, Grecia, Italia, Australia y Singapur.

La producción científica por países es un dato muy importante de considerar al momento de indagar en cualquier temática, ya que permite facilitar la búsqueda de información y así poder encontrar aportaciones que puedan servir para investigaciones futuras.

5. Conclusiones

La minería de textos es una herramienta bastante útil que permite encontrar diferentes relaciones, patrones o tendencias en información que no se encuentra ordenada. De igual forma permite darle un enfoque innovador a la realización del estado del arte de cualquier tema científico encontrando información relevante que quizás no se hubiese encontrado con una revisión literaria convencional.

Un aspecto relevante a considerar es la diferencia entre el primer grupo de artículos seleccionado con el segundo, el primer conjunto se eligió de forma tradicional, es decir, leyendo los resúmenes y palabras clave de los artículos encontrados en Google Scholar, mientras que en el otro se

utilizan las diferentes herramientas de búsqueda bibliométrica que ofrece la base de datos Web of Science.

Se obtuvieron un total de 4 mapas de clústeres que ofrecen información muy útil acerca de la temática en cuestión que quizá no se apreciaría realizando una revisión literaria de manera tradicional, es decir, leyendo los artículos de forma exhaustiva. Y de igual forma se obtuvo una table comparativa de criterios importantes que cabe mencionar solo se pueden obtener leyendo y razonando el contenido del artículo.

Otro factor importante a considerar dentro de la elaboración del presente artículo es la búsqueda de información en diferentes bases de datos científicas que permiten potencializar el nivel de la investigación que se esté llevando a cabo debido al acceso de conocimiento que estas poseen. Es importante para cualquier estudiante, investigador o profesionalista el tener acceso a diferentes repositorios, revistas o artículos ya que estos pueden brindar un gran apoyo para las actividades que estén desarrollando y así fomentar una cultura de investigación en nuestro país.

6. Bibliografía

- Banerjee, D., & Smilowitz, K. (2019). Incorporating equity into the school bus scheduling problem. *Transportation Research Part E*, 131, 228-246.
- Bektaş, T., & Elmastaş, S. (2007). Solving school bus routing problems through integer programming. *The Journal of the Operational Research Society*, 58, 1599-1604.
- Bowerman, R., Hall, B., & Calamai, P. (1995). A multi-objective optimization approach to urban school bus routing: formulation and solution method. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 29A, 107-123.
- Braca, J., Bramel, J., Posner, B., Simchi-Levi, D., 1997. A computerized approach to the New York City school bus routing problem. *IIE Transactions*, 29, 693-702.
- Chen, D., & Kallsen, H. (1988). School bus routing and scheduling: an expert system approach. *Computers ind. Engng.* 15, 179-183.

- Corberan, A., Fernández, E., Laguna, M., Marti, R. (2002). Heuristic solutions to the problem of routing school buses with multiple objectives, *J. Oper. Res. Soc.*, 53, 427–435.
- Ellegood, W., Solomon, S., North J., & Campbell, J. (2019). School bus routing problema: Contemporany trends and research directions. *Omega*, 95, 1–17.
- Eguizábal, S., Moura, J., Portilla, A., & Ponce, J. (2017). Optimization model for school transportation design based on economic and social efficiency. *Transport Policy*, 67, 93–101.
- Ezquerro, E., Moura, S., Ibeas, J., & Geem, Z. (2016). School Bus Routing using Harmony Search. Obtenido el 18 de noviembre del 2022 de ResearchGate: https://www.researchgate.net/profile/Zong-WooGeem/publication/228675505_School_bus_routing_using_harmony_search/links/575a132608aacc91374a3b6c3/School-bus-routing-using-harmony-search.pdf
- Ghiani, G., Laporte, G., Musmanno, R. (2022). *Introduction to Logistics Systems Management*. Oxford: Wiley
- IBM. (2018). Acerca de la minería de textos. Obtenido el 19 de abril del 2023 de IBM: https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/en/SS3RA7_sub/ta_guid_e_ddita/textmining/shared_entities/tm_intro_tm_defined.html.
- Kan, M., Kim, S., Felan, J., Choi, H., & Cho, H. (2015). Development of a Genetic Algorithm for the School Bus Routing Problem. *International Journal of Software Engineering and Its Applications*, 9, 106–129.
- Lazaro, P., Arias, J., & Orejula, J. (2019). School bus routing problem with environmental considerations using granular tabu search. *Scientia Et Technica*, 24, 652–659.
- Li, L., & Fu, Z. (2002). The school bus routing problem: a case study. *Journal of the Operational Research Society*, 53, 552–558.
- Lis-Gutiérrez, P., Gaitán-Angulo, M., Bouza, C., Balaguera, M., Lis-Gutiérrez, M., Beltrán, C., & Aguilera, D. (2019). Text Mining Applied to Literature on Sustainable Supply Chain (1996–2018) An Analysis Based on Scopus. *Sustainable Procurement in Supply Chain Operations*, 1, 303–333.
- Lulewicz-Sas, A. (2017). Corporate Social Responsibility in the Light of Management Science – Bibliometric Analysis. *Procedia Engineering*, 182, 412–417.
- Martínez, L., & Viegas, J. (2011). Design and Deployment of an Innovative School Bus Service in Lisbon. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 20, 120–130.
- Manumbu, D., Mujuni, E., & Kuznetsov, D. (2014). Mathematical Formulation Model for a School Bus Routing Problem with Small Instance Data. *Mathematical Theory and Modeling*, 4, 121–132.
- Miranda, D., Camargo, R., Conceição, S., Porto, M., & Nunes, N. (2018). A multi-loading School Bus Routing Problem. *Expert Systems With Applications*, 101, 228–242.
- Newton, R., & Thomas, W. (1969). Design of school bus routes by computer. *Socio-Econ. Plan. Sci.* 3, 75–85.
- Oluwadare, S., Oguntuyi, I., & Nwaiwu, J. (2018). Solving school bus routing problem using genetic algorithm-based model, *Int. J. Intell. Syst. Appl.* 10, 50–58.
- Park, J., & Kim, B. –I. I. (2009). The school bus routing problem: A review. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*, 202, 311–319.
- Park, J., Tae, H., & Kim, B.-I. I. (2012). A post-improvement procedure for the mixed load school bus routing problem. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*, 217, 204–213.
- Pérez-Rodríguez, R., & Hernández-Aguirre, A. (2016). Probability model to Solve the School Bus Routing Problem with Stops Selection. *International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics*, 7, 30–39.
- Qian, L., & Melanchrinouis, E. (2020). School bus routing with bell time policy optimization: a multi-objective approach. *Northeast Decision Sciences Institute 2020 Annual Conference*, X, 525, 540.
- Riojas, A. (2005). Conceptos, algoritmo y aplicación al problema de las N – reinas. Obtenido el 20 de febrero de 2023 de Universidad Nacional Mayor de San Marcos: https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/monografias/basic/riojas_ca/cap2.pdf
- Rodanet. (2022). ¿Qué es la co-citación? ¿Y la co-ocurrencia? El futuro del link building. Obtenido el 20 de abril de 2023 de Rodanet: <https://rodanet.com/que-es-la-co-citacion-y-la-co-ocurrencia-el-futuro-del-link-building/>
- Rojas, E. (2015). Problema de ruteo del autobús escolar con recolección mista. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Metropolitana] Obtenida el 11 de mayo de 2023 de repositorio institucional Zaloamatl de la Universidad Autónoma Metropolitana: <http://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/6052>
- Saiza, M., Lostumboab, M., Juana, A., & López-López, D. (2021). A clustering-based review on project portfolio optimization methods. *International Transactions in Operational Research*, 0, 1–28.
- Samadi-Dana, S., Paydar, M., & Jouzdani, J. (2017). A simulated annealing solution method for robust school bus routing. *International Journal of Operational Research*, X, 1–19.
- Toloo, M., Talatahari, S., Gandomi, A., & Rahimi, I. (2022). Multiobjective combinatorial optimization problems: social, keywords, and journal maps. *Optimization Problems and Solution Methods*, X, 1–9.
- Valls, M., Santos-Jaén, J., Amin, F., & Martín-Cervantes, P. (2021). Pensions, Ageing and Social Security Research: Literature Review and Global Trends. *Mathematics*, 9, 1–26.
- Van Eck, N., & Waltman, L. (2009). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84, 523–538.
- Van Eck, N., & Waltman, L. (2018). *VOSviewer Manual*. Leiden: University of Leiden