

Optimización del transporte urbano en Lima aplicando los algoritmos genéticos Tabú y Colonia de Hormigas

Benites-Yarasca Alfonso William, Campos-Vasquez Neicer, Maestro en Ciencias Económicas, Sotomayor-Burga Juan, Maestro en Ciencias Empresariales, Rabanal-Chávez Erick, Maestro en Administración de Negocios, Perez-Heredia Carlos, Ingeniero Industrial.

Universidad Privada del Norte, Perú, N00211325@upn.pe, neicer.campos@upn.edu.pe, juan.sotomayor@upn.edu.pe, erick.rabanal@upn.edu.pe, marcelo.perez@upn.edu.pe

Resumen- Esta investigación se realizó con la necesidad de conocer la aplicación de los algoritmos Tabú y Colonia de Hormigas de un punto de vista teórico del transporte urbano, con la finalidad de identificar el algoritmo más eficiente para poder optimizar el transporte urbano en la ciudad de Lima y también conocer los beneficios que implica su implementación. En esta revisión se analizaron diversos campos de algoritmos genéticos en los cuales se aplican como es el transporte público colectivo, rutas de distribución, distribución logística de última milla, flujos de tráfico, congestión vehicular, la computación, redes neuronales, distribución de energía eléctrica, etc.

Se realizó el análisis de las aplicaciones y las posibles soluciones que generan estos algoritmos frente al déficit del transporte urbano. Las fuentes de información que se consideraron fueron Alicia, Redalyc y Dialnet. Realizando una revisión a la literatura sobre los algoritmos genéticos Tabú y Colonia de Hormigas logrando encontrar 28 artículos en español de los últimos 5 años. Y especificando que algoritmo apropiado a aplicar es el Tabú.

PALABRAS CLAVES: fueron "algoritmos", "genéticos", "optimización", "transporte urbano", "tabú" y "colonia de hormigas".

Abstract: This research was carried out with the need to know the application of the algorithms Tabú and Colonia de Hormigas from a theoretical point of view of urban transport, in order to identify the most efficient algorithm to be able to optimize urban transport in the city of Lima and also know the benefits implied by its implementation. In this review, various fields of genetic algorithms were analyzed in which they are applied, such as collective public transport, distribution routes, last-mile logistics distribution, traffic flows, traffic congestion, computing, neural networks, electrical energy distribution, etc.

An analysis of the applications and possible solutions that generate algorithms was carried out in the face of the urban transport deficit. The sources of information that were considered were Alicia, Redalyc and Dialnet. Performing a review of the literature on the genetic algorithms Tabú and Colonia de Hormigas, managing to find 28 articles in Spanish from the last 5 years. And specifying that appropriate algorithm to apply is the Taboo.

KEY WORDS: they were "algorithms", "genetic", "optimization", "urban transport", "taboo" and "ant colony".

Digital Object Identifier: <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.321>
ISBN: 978-958-52071-8-9 **ISSN:** 2414-6390
DO NOT REMOVE

Optimización del transporte urbano en Lima aplicando los algoritmos genéticos Tabú y Colonia de Hormigas

Benites-Yarasca Alfonso William, Campos-Vasquez Neicer, Maestro en Ciencias Económicas, Sotomayor-Burga Juan, Maestro en Ciencias Empresariales, Rabanal-Chávez Erick, Maestro en Administración de Negocios, Perez-Heredia Carlos, Ingeniero Industrial.

Universidad Privada del Norte, Perú, N00211325@upn.pe, neicer.campos@upn.edu.pe, juan.sotomayor@upn.edu.pe, erick.rabanal@upn.edu.pe, marcelo.perez@upn.edu.pe

Resumen- Esta investigación se realizó con la necesidad de conocer la aplicación de los algoritmos Tabú y Colonia de Hormigas de un punto de vista teórico del transporte urbano, con la finalidad de identificar el algoritmo más eficiente para poder optimizar el transporte urbano en la ciudad de Lima y también conocer los beneficios que implica su implementación. En esta revisión se analizaron diversos campos de algoritmos genéticos en los cuales se aplican como es el transporte público colectivo, rutas de distribución, distribución logística de última milla, flujos de tráfico, congestión vehicular, la computación, redes neuronales, distribución de energía eléctrica, etc.

Se realizó el análisis de las aplicaciones y las posibles soluciones que generan estos algoritmos frente al déficit del transporte urbano. Las fuentes de información que se consideraron fueron Alicia, Redalyc y Dialnet. Realizando una revisión a la literatura sobre los algoritmos genéticos Tabú y Colonia de Hormigas logrando encontrar 28 artículos en español de los últimos 5 años. Y especificando que algoritmo apropiado a aplicar es el Tabú.

PALABRAS CLAVES: fueron "algoritmos", "genéticos", "optimización", "transporte urbano", "tabú" y "colonia de hormigas".

Abstract: This research was carried out with the need to know the application of the algorithms Tabú and Colonia de Hormigas from a theoretical point of view of urban transport, in order to identify the most efficient algorithm to be able to optimize urban transport in the city of Lima and also know the benefits implied by its implementation. In this review, various fields of genetic algorithms were analyzed in which they are applied, such as collective public transport, distribution routes, last-mile logistics distribution, traffic flows, traffic congestion, computing, neural networks, electrical energy distribution, etc.

An analysis of the applications and possible solutions that generate algorithms was carried out in the face of the urban transport deficit. The sources of information that were considered were Alicia, Redalyc and Dialnet. Performing a review of the literature on the genetic algorithms Tabú and Colonia de Hormigas, managing to find 28 articles in Spanish from the last 5 years. And specifying that appropriate algorithm to apply is the Taboo.

KEY WORDS: they were "algorithms", "genetic", "optimization", "urban transport", "taboo" and "ant colony".

I. INTRODUCCION

Durante muchos años, los algoritmos genéticos se han caracterizado por resolver problemas de búsqueda y optimización. El algoritmo se basa en el proceso genético de los organismos vivos. A lo largo de toda la generación, la población ha evolucionado en la naturaleza basándose en los principios de selección natural y supervivencia del más apto, propuesto [1]

Al imitar este proceso, los algoritmos genéticos tienen la capacidad de resolver gradualmente problemas prácticos. La evolución de estas soluciones hacia el valor óptimo del problema dependerá de su buena codificación. La tecnología se basa en el mecanismo de selección que utiliza la naturaleza, es decir, los individuos más dotados de la población son aquellos que pueden sobrevivir porque pueden adaptarse fácilmente a los cambios ambientales.

“los Algoritmos Genéticos son algoritmos de búsqueda basados en la mecánica de selección natural y de la genética natural. Combinan la supervivencia del más apto entre estructuras de secuencias con un intercambio de información estructurado, aunque aleatorizado, para constituir así un algoritmo de búsqueda que tenga algo de las genialidades de las búsquedas humanas.” [2].

[3]en 1930 se planteó el problema del agente viajero, que consistía en obtener la ruta más óptima para que un viajero pasara por todos los puntos de un mapa, esto es ampliamente estudiado desde entonces, y su análisis y resolución para encontrar la ruta más óptima sigue vigente en la actualidad. Inicialmente la resolución se realizaba con algoritmos de fuerza bruta, sin embargo, estos algoritmos se volvieron obsoletos debido a la complejidad que se iba sumando al problema, por lo que posteriormente surgieron soluciones con

algoritmos aproximados. [4]resolvió los problemas que aparecían en la red de transporte del país europeo Suiza, y propuso una solución. La representación del problema es una red compuesta por 15 nodos y 21 arcos.

Figura 1: Representación problema Mandi [3]

El caso de estudio fue investigado por otros investigadores como Baaj y Mahmassani, y cada uno de ellos obtuvo una optimización de ruta para los problemas planteados. La optimización de rutas es siempre un tema de actualidad.

En nuestra sociedad, el crecimiento de las ciudades se ha incrementado mucho en las últimas décadas, y hasta entonces las rutas de transporte público han sido insuficientes. Ante el surgimiento de nuevos núcleos urbanos, los ayuntamientos deben cambiar o agregar nuevas rutas en los servicios de transporte público, esto debe hacerse en condiciones de sostenibilidad y presupuesto, no siempre es una tarea fácil.

El algoritmo genético permite resolver diferentes situaciones, como la aplicación del camino mínimo, por lo que se estudia el algoritmo genético, como el tabú y la colonia de hormigas.

El propósito de esta investigación es analizar diferentes métodos y estrategias para la implementación de algoritmos genéticos y su aplicación en la optimización del transporte urbano, especialmente en Lima, que es una de las ciudades más problemáticas en los sistemas de transporte público y Privado [5]. Según una encuesta realizada por la Universidad Tomtom en Holanda, Lima es la tercera ciudad más congestionada del mundo, superada por Bombay en India y Bogotá en Colombia). La población ha aumentado con los años. La necesidad de transporte conlleva a un aumento de la cantidad de vehículos, saturación de las rutas de transporte urbano y retrasos en la llegada al destino. Debido a esta problemática, este trabajo tiene como objetivo optimizar las rutas de tráfico urbano mediante la aplicación de los algoritmos Tabú y Colonia de Hormigas.

Objetivo: Analizar los métodos de optimización de rutas de transporte urbano mediante la aplicación de los algoritmos genéticos Tabú y Colonia de Hormigas.

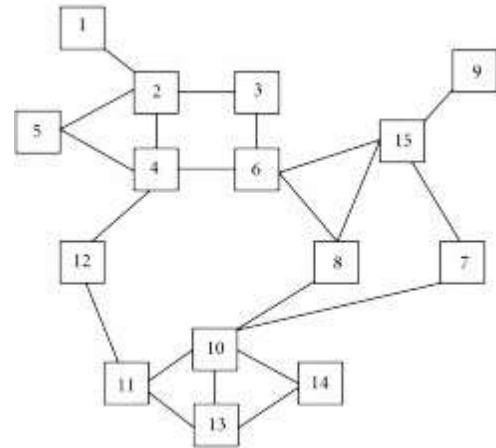
Problema:

¿Qué métodos de algoritmos genéticos (Tabú y Colonia de Hormigas) son más eficientes para la optimización de transporte urbano?

Esta investigación estudia la aplicación del algoritmo tabú y la colonia de hormigas. Según la investigación, los resultados de la ruta optimizada también se pueden mostrar en la aplicación de Tabú y la estructura del algoritmo de la colonia de hormigas.

II. METODOLOGIA

Esta investigación sigue la metodología de revisión sistemática. “Es un método sistemático para identificar,



evaluar e interpretar el trabajo de investigadores, académicos y profesionales en un campo elegido”. [6]

La estrategia para la selección de artículos científico fueron considerar investigaciones primero de acuerdo a: idioma, país y como estrategia principal de filtro tomar las palabras claves inmersas en la investigación como son: “genéticos”, “optimización”, “transporte urbano”, “tabú” y “colonia de hormigas” Se trabajó con los siguientes repositorios académicos: Alicia, Redalyc y Dialnet.

Esta investigación se llevó a cabo sobre la base de una revisión sistemática que recopila artículos científicos del mundo académico para así realizar una amplia gama de métodos para aplicar el “algoritmo genético” al “transporte urbano”. Al buscar y recopilar información, la búsqueda se llevará a cabo en una investigación exploratoria. “Se abordan campos poco conocidos donde el problema, que sólo se vislumbra, necesita ser aclarado y delimitado. Esto último constituye precisamente el objetivo de una investigación de tipo exploratorio. Las investigaciones exploratorias suelen incluir amplias revisiones de literatura y consultas con especialistas.” [7].

Se realizó una recolección de artículos científicos de diversas fuentes confiables y seguras para permitir la recolección de información verificada y confiable de fuentes académicas como: Alicia, Redalyc y Dialnet. Para ello se realiza una investigación de la aplicación de los algoritmos genéticos, posterior a ello se realizarán filtros para su recolección de la información, obteniendo preliminarmente los siguientes resultados.

Tabla 1 Artículos encontrados

Fuentes	Resultados
Alicia	174

Redalyc	43891
Dialnet	1171

Nota. Fuente
(Elaboración propia)

PROCESO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Al buscar información sobre los fundamentos académicos se encontró una gran cantidad de resultados como se muestra en la Tabla 1, una gran parte de los cuales pertenece a Redalyc por ser una fuente académica de diferentes países e idiomas mientras que la otra está recolectando información de América Latina o incluso investigaciones de Perú como Alicia. El criterio de búsqueda de esta primera parte fue "Algoritmos genéticos" con el fin de obtener un conocimiento general de la información disponible y las aplicaciones que contiene.

Gracias a John Henry Holland, el término "algoritmo genético" se hizo ampliamente conocido en 1970, y esta es una de las áreas más prometedoras de la inteligencia artificial. Se denominan algoritmos genéticos porque están inspirados en la evolución biológica y su base genética molecular. Este filtro se ha aplicado a las bases académicas. De igual manera, también se consideraron artículos en inglés y español; sin embargo, para Alicia, al ser una plataforma de recolección de información científica del Perú, toda la información encontrada está en español. Después de considerarlos, para seleccionar artículos basados en el tema de la revisión del sistema, utilizando "algoritmo", "genética", "optimización", "transporte urbano", "tabú" y "colonia de hormigas", se puede observar el algoritmo genético en varias Aplicaciones en el campo del transporte.

Obteniendo los siguientes resultados en la Tabla 2.

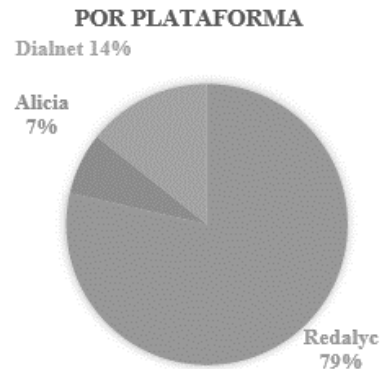
Fuentes	2015	2016	2017	2018	2019	Total
Redalyc	1	2	7	9	3	22
Alicia	2	0	0	0	0	2
Dialnet	1	1	0	1	1	4

Nota. Fuente (Elaboración propia)

De este modo se logró obtener como resultado en la tabla 2 la cual muestra que, Redalyc obtuvo el 79%, Alicia el 7% y Dialnet el 17% de la información realizada como se muestra en la figura 2.

Figura2: Porcentaje de fuentes encontradas por plataforma.

PORCENTAJE DE FUENTES ENCONTRADAS



Fuente: Elaboración propia

CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y DE EXCLUSIÓN

Se incluyeron artículos originales publicados en bases de datos científicas indexadas entre 2015 y 2019, que describen un enfoque y estrategia de Algoritmos Genéticos asociados al transporte urbano, así como también investigaciones de nuestros países vecinos como Colombia y Ecuador.

También se tomó la investigaciones de muchos años atrás como por ejemplo la distribución de contenedores, la cual usamos como referencia para su aplicación en el transporte urbano ya que se basó en el diseño de un modelo con el que era posible optimizar los procesos y llegar a controlarlos, también contribuyó a la mejora del transporte de mercancías mediante la reducción de costes económicos y retrasos para los transportistas.

Como criterio de exclusión se realizó a aquellas investigaciones científicas que fueron realizador antes del año 2015, resultados encontrados entre el 2015 y el 2019 que no cumplieron con las palabras clave el contexto de estudio, aquellas investigaciones que estén en otros idiomas a excepción del idioma español, así como también aquellas investigaciones que no estuvieron enfocados hacia el transporte público urbano.

III .RESULTADOS

La búsqueda de artículos en las bases de datos y motores de búsqueda arrojó un total de 28 artículos originales en el periodo de tiempo de 2015 a 2019, distribuidos así: Redalyc, 22 artículos; Alicia, 2 artículos y Dialnet, 4 artículos.

Posteriormente, se aplicaron criterios de inclusión y de exclusión hasta la obtención de un número final de 14 artículos los cuales se relacionan con el título y objetivo de nuestra investigación, descartando los demás por exclusión. En los artículos que fueron seleccionados hacen referencia a la

aplicación de los algoritmos genéticos en el transporte urbano, además de las posibles soluciones para el transporte urbano.

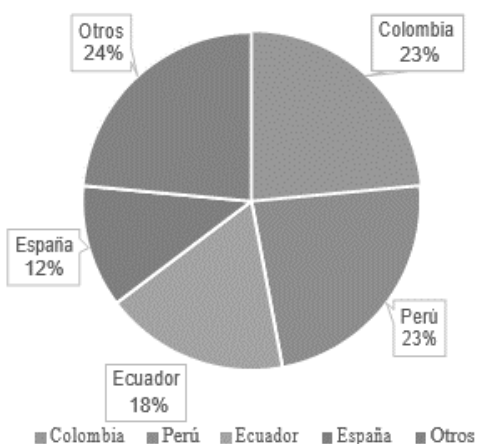
Figura3: N° de publicaciones en los últimos años.



Se observa en la Figura 3 que en los últimos años ha habido una mayor publicación sobre la aplicación de algoritmos genéticos relacionado con el transporte urbano, y eso se explica que en los últimos años se ha generado una gran preocupación por el gran incremento del parque automotor ocasionando la saturación de las vías, por lo que las investigaciones han incrementado.

Figura 4. Numero de publicaciones de países seleccionados.

N° de publicaciones de países en los últimos años



En la Figura 4 se observa que Colombia y Perú cuentan con más del 26% de artículos encontrados para la revisión sistemática, debido a la alta investigación que se realiza en las universidades de ese país debido a la congestión vehicular que ha ido creciendo en los últimos años.

Tabla 3: Ventajas y Desventajas de los algoritmos.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
TABÚ: <ul style="list-style-type: none"> • Damejoresrutadespuésde cada parada. • Mejor rentabilidad del transporte público. • La aplicación es breve y sencilla • Evite los ciclos repetitivos. • Utilice la memoria sabiamente. • Velocidad derecompilaciónde datos 	<ul style="list-style-type: none"> • La eficiencia depende de cómo modelar el problema • Nohayformadesaberquétan cerca está lamejor solución. • Se necesitan unos adecuados elementos computacionales para su implementación.
COLONIA DE HORMIGAS: <ul style="list-style-type: none"> • Proporcionar la mejor ruta desde el punto de inicio hasta el punto final. • Útil para problemas combinatorios. • Se pueden realizar muchos problemas dered. • Se basa en la población. • Evita el estancamiento de la solución. 	<ul style="list-style-type: none"> • Programación muy larga. • Implementación muy cara. • Uso muy complicado. • Solución muy académica

Fuente: Elaboración propia.

PROCESO COLONIA DE HORMIGAS:

Estos algoritmos basados en colonias de hormigas artificiales son agentes computacionales que trabajan de una forma muy unida para comunicarse a través de indicios de feromonas artificiales.

```

Procedure AS
InicializacionDatos
While(not CriterioFin) {
    ConstrucciónSoluciones BusquedaLocal
    ActualizaciónFeromonas
}
    
```

Cuadro Pseudo-código de las metaheurísticas de la colonia de hormigas. [8]

Las fases del algoritmo AS se describen con más detalle a continuación:

Inicialización de datos: En esta primera parte del algoritmo se especifican aquellos datos del problema a resolver y se inicializan los parámetros del algoritmo. En cuanto a los datos del problema, además de su definición, estos datos pueden manipularse para obtener cierta información heurística que puede considerarse útil para obtener buenas soluciones.

Los parámetros que se definen para la operación del algoritmo se muestran a continuación:

La cantidad de hormigas en la colonia (m). A una mayor cantidad del número de hormigas, mayor será la capacidad del algoritmo para explorar un espacio de solución

más grande. Sin embargo, esto también aumenta el tiempo de cálculo y la memoria necesarios para ejecutar el algoritmo.

El valor de la traza de feromonas (τ_{ij}), para todas aquellas posibles opciones de componentes de la solución, se inicializa a un valor igual a τ_0 .

Los parámetros de evaporación (ρ), que pueden reducir la intensidad de las trazas de feromonas depositadas por las hormigas.

Aquellos parámetros de influencia relativa de la traza de feromonas (α) y la información heurística derivada de los datos de la pregunta (β).

Soluciones de construcción: En esta fase del algoritmo, cada uno de las hormigas administradoras de la colonia virtual crea una solución \square al problema. Cuando una hormiga tiene que elegir el elemento para agregar a su solución, sigue una regla de probabilidad que toma en cuenta tanto la información heurística de los datos del problema particular que está tratando de resolver como a lo largo del rastro de feromonas acumuladas mediante la ejecución del algoritmo durante iteraciones anteriores. Por lo tanto, el punto más primordial es que se debe lograr un compromiso entre dos objetivos diferentes para la construcción de una nueva solución por parte de cada hormiga: expandir el espacio de búsqueda de nuevas soluciones a áreas donde se cree que existen soluciones más prometedoras, o insistir en ser buscadas para de esa manera poder convertirse en soluciones cercanas a las soluciones de calidad previamente visitadas. Esta obligación debe especificarse mediante los parámetros \square y \square .6

La regla de probabilidad según la cual cada hormiga selecciona un nuevo elemento para agregar es la siguiente:

$$p_{ij}^h = \left\{ \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in N_i^h} [\tau_{il}]^\alpha [\eta_{il}]^\beta}, \quad si \ j \in C_i^h \right.$$

$$0, \quad si \ j \notin C_i^h$$

En esta regla, h es aquella probabilidad de que la hormiga h pueda seleccionar el componente j en la decisión i . Para C_i^h , es aquel conjunto de componentes que se pueden agregar a la decisión i de la hormiga h . El valor representa a aquella fuerza de la traza de feromonas en el componente j de la decisión i . Con respecto a η_{ij} , es el parámetro necesario que contiene la información heurística adecuada del componente j para determinar i .

Búsqueda Local: Cuando se empieza con una buena solución y se intenta encontrar un valor óptimo local cerca de ella, la heurística de búsqueda local es eficaz. Debido a que tiene una buena solución después del paso anterior, pero no necesariamente el óptimo local, generalmente agrega una etapa en la que se realiza una búsqueda local alrededor de la solución obtenida. A pesar de la normativa anterior, al aplicar metaheurísticas ACO, los algoritmos de búsqueda local no

siempre se utilizan en combinación, porque en ocasiones su aplicación aumentará excesivamente el tiempo de cálculo o no conseguirá una mejor solución de la que ya tenemos. Por tanto, su aplicación dependerá del tiempo del problema a resolver.

Actualización Feromonas: Después de aplicar o no aplicar la búsqueda local, como ya hemos mencionado, la búsqueda local es opcional según el tipo específico de problema a resolver, y el valor del seguimiento de feromonas debe actualizarse según la solución obtenida. La actualización del valor de feromonas se realiza en dos pasos consecutivos:

- **Evaporación de trazas de feromonas:** al debilitar el valor de las feromonas, las hormigas pueden "olvidar" gradualmente las soluciones pasadas y tender a formar nuevas soluciones. Realice esta actualización aplicando la siguiente fórmula:

$$\tau_{ij} \leftarrow (1-\rho) \cdot \tau_{ij}; \forall (i, j)$$

Por lo tanto, como se mencionó en las secciones anteriores, cuanto mayor sea el valor llamado "parámetro de evaporación", mayor será la atenuación de la traza de feromonas en cada iteración del algoritmo a resolver.

- **Deposición de feromonas:** según la solución encontrada en la iteración actual del algoritmo, cada hormiga depositará una cierta cantidad de feromonas de acuerdo con los pros y contras de la solución encontrada en la iteración. El valor de la feromona depositada en la traza de la solución obtenida es el siguiente:

$$\Delta t_{ij}^h = \begin{cases} g(s^h) \\ 0, \end{cases}$$

En caso contrario

La fórmula ($g(s^h)$) para evaluar la calidad de una solución puede adoptar muchas formas. Las funciones más utilizadas son las siguientes:

$$g(s^h) = \frac{Q}{L_h}$$

Q es una constante y L_h es la longitud del camino de la solución encontrada por la hormiga h . Finalmente, usando el valor de feromonas almacenado en esta iteración, actualice el valor de feromonas que se usará en la próxima iteración del algoritmo:

$$t_{ij} \leftarrow t_{ij} + \sum_{h=1}^m \Delta t_{ij}^h$$

Criterio final: En este algoritmo colonia de hormigas, el criterio para poder completar la iteración es una decisión que se debe tomar, y se puede utilizar en cualquier tipo de criterio, aunque en el algoritmo AS original se utiliza un cierto número de iteraciones extremas como criterio final.

Paso 1: Inicializar

- Inicializar r (matriz de regiones)
Donde $r_j^i(0) = U * [x_{min}^i, x_{max}^i]$ $i, j = 1, 2, \dots, NR$ y $j = 1, 2, \dots, n_{var}$
- Inicializar t (rastros de feromonas) donde $t_j^i(0) = t^0$
- Fijar $r_{\alpha}(0)$ como la mejor región

Paso 2: Iteración, t

DO

FOR cada hormiga, k=1 a NA

Se selecciona regiones factibles

$N^c = \{r_{\alpha}^k, r_{\beta}^k, \dots, r_{\alpha}^k \text{ donde } \alpha \neq \beta\}$

FOR cada dimensión, j=1 a n_{var}

Selecciona $s^j = j$ basada en la función de probabilidad:

$$P_t^k(t) = \begin{cases} \frac{t_j^k(t)}{\sum \text{viz } N^k t_j^k} & \text{IF } \exists N^k \\ & \text{IF } \exists N^k \end{cases}$$

$x^{j,k} =$

ELSE

$\left\{ \begin{array}{l} \text{operador de búsqueda de camino IF } U * [0,1] < SP \\ j, k \\ e^f \end{array} \right.$

IF $x^{j,k} < x_{min}^j$ OR $x_{max}^j < x^{j,k}$

$$x^{j,k} = x_{min}^j + U * [0,1] * (x_{max}^j - x_{min}^j)$$

END IF

END FOR

$M^c = \{r_1^{1,k}, r_2^{2,k}, \dots, r_{n_{var}}^{n_{var},k}\}$

Selecciona $r_s, co = U * [1, n_{var}]$

IF $f(x^k) < f(r_s^k co)$

FOR cada dimension, j = 1 a N_{var}

$r_s^{j,k} co \leftarrow x^{j,k}$

interseccion - t

END FOR

IF $f(x^k) < f(r_{\beta} co(r))$ THEN

$r_{\beta}(t) \leftarrow x^k$

END IF

Realizar proceso de evaporación de feromonas: $r \leftarrow r - \Delta t_{evap}$

FOR cada región j=1 a NR

FOR cada dimensión, j=1 a n_{var}

IF $r_j^i < 1$ THEN $r_j^i = 1$ END IF

END FOR

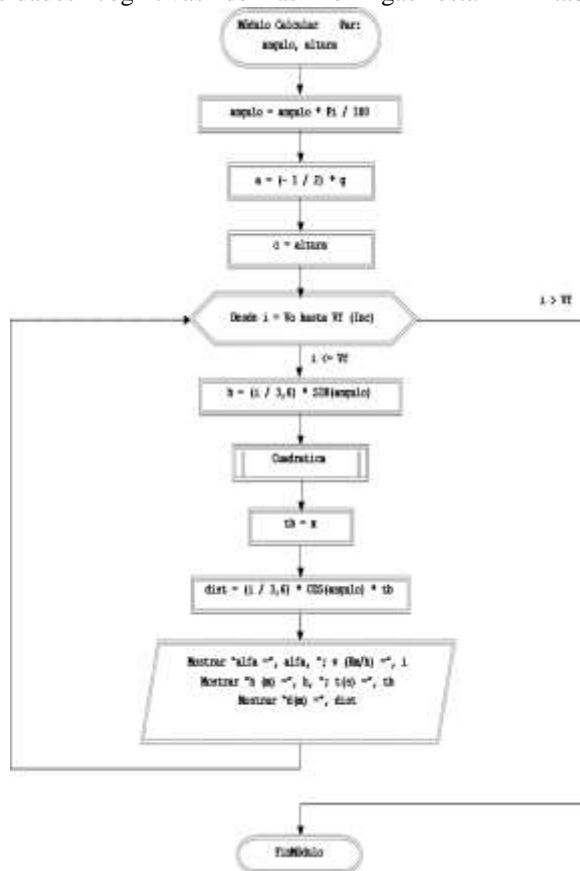
END FOR

WHILE no se cumpla el criterio de terminación

Salida: $r_s; f_s = f(r_s)$

Programación de colonia de hormigas. [8]

Esta técnica se basa en modelar el proceso crítico de una hormiga real. La idea surge de la observación de la explotación de los recursos alimenticios en las hormigas, en la que las capacidades cognitivas de las hormigas están limitadas



individualmente y pueden buscar conjuntamente el camino más corto entre la fuente de alimento y su nido o colonia.

Figura5: Diagrama de flujo Algoritmo Colonia de Hormigas. [8]

PROCESO TABÚ: La búsqueda tabú toma el concepto de memoria de la inteligencia artificial y lo implementa a través de estructuras simples para poder dirigir la búsqueda teniendo en cuenta su historia, es decir, el procedimiento intenta extraer información sobre lo sucedido y actuar en consecuencia. En este sentido, se puede decir que hay cierto aprendizaje y que la búsqueda es inteligente. La búsqueda tabú le permite cambiar a una solución incluso si no es tan buena como la actual, lo que le permite escapar de ubicaciones óptimas y continuar estratégicamente su búsqueda de soluciones aún mejores.

1.- Elija un estado $x \in X$ inicial y sea $x^* := x, k = 0$ (contador de iteración) y $T := \emptyset$.

2. Si $S(x) - T = \emptyset$ ir a 4, de lo contrario, sea $k := k + 1$ y elija $\in S(x) - T$ tal que $(x) = \text{OPTIMAL}(s(x) : s \in S(x) - T)$.

3. Sea $x := (x)$. Si $c(x) < c(x^*)$ (donde x^* es la mejor solución hasta ahora), sea $x^* := x$.

4. Cuando se agote el número de interacciones o cuando $S(x) - T = \emptyset$ se detenga, de lo contrario actualice T (agregue el movimiento actual a la lista de pestañas y posiblemente elimine el elemento más antiguo) y regrese a 2 espalda.

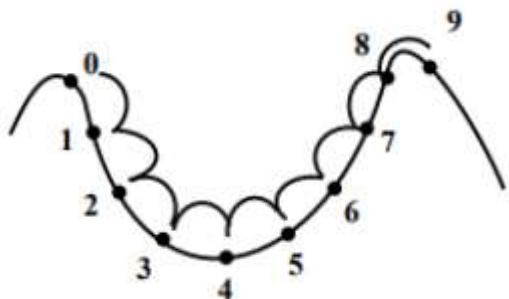


Figura 6: Ejemplo básico de búsqueda Tabú. [9]

Lista tabú actual), luego 4, llene la lista tabú con tres elementos: {mov (4,3), mov (3,2), mov (2,1)}. En la función objetivo (movimiento (4, 5)), el siguiente paso es el peor, pero dentro del rango permitido por la lista tabú y el esquema vecino utilizado, el siguiente paso es el mejor. También hará que se elimine el elemento más antiguo con una lista prohibida (porque está lleno). La lista de tabú es la siguiente: {mover (5, 4), mov (4, 3), mov (3, 2)}. Este proceso continúa hasta que finalmente pasamos del estado 8 al estado 9 y rompemos el mínimo local.

Puntos clave:

- La solución depende de cómo se actualice T.
- No existe un óptimo local.
- Busque la "mejor" solución (función

OPTIMAL) en cada paso, en lugar de mejorar

algunas opciones de la solución.

ÓPTIMO puede ser:

$$c(s_k(x)) = \text{valor mínimo } (c(s(x)): s \in S(x) - T)$$

ÓPTIMO ofrece las mejores o peores soluciones basadas en la lista de tabú.

En principio, se pueden adoptar algunas soluciones mejoradas (en caso de que sea difícil encontrar la mejor solución), pero generalmente se adopta la estrategia más agresiva.

La razón principal es que no hay problema con la mejor ubicación.

Por lo general, la lista tabú se implementa como una lista circular, agregando elementos en la posición 1 y eliminando los elementos que exceden la posición t (para t fijo). La forma efectiva de implementar la lista T es:

$$T = \{s - 1: s = sh, \text{ para } h > k - t\}$$

Donde k es el número de iteraciones y s - 1 es el movimiento inverso de s. Por lo tanto, el paso de actualización de T es: $T = T - s - 1 \text{ k} - t + s - 1 \text{ k}$. En general, trate de evitar quedarse atascado en el estado de solución anterior.

Esto no significa que deba elegir una t muy grande. En la práctica, T no toma la forma anterior: (i) s - 1 evita un mayor conjunto de movimientos, (ii) debido a consideraciones de memoria, se espera que solo se almacene un subconjunto de atributos que caracterizan el movimiento. En estas condiciones, la lista tabú representa el conjunto de acciones de Ch.

Cuando la lista $S - T = \emptyset$, el elemento más antiguo de T se puede eliminar para permitir que el proceso continúe.

Paso 0: Inicialización.

X := solución inicial factible

tmax := máximo número de iteraciones

Mejor solución := X

Número de soluciones = t := 0

Lista tabú := vacía

Paso 1: Parada

Si cualquier movimiento posible de la solución

actual es tabú o si
 $t = t_{max}$
 Entonces parar. Entregar Mejor solución.
 Paso 2: Mover
 Elegir el mejor movimiento no-tabú factible $x(t+1)$
 Paso 3: Iteración.
 Modificar $X(t+1) := X(t) + x(t+1)$
 Paso 4: Reemplazar el mejor.
 Si el valor de la función objetivo de $X(t+1)$ es superior a Mejor solución entonces a mejor
 Solución := $X(t+1)$
 Paso 5: Actualizar Lista Tabú.
 Eliminar desde la lista tabú cualquier movimiento que ha permanecido un suficiente número de iteraciones en la lista.
 Agregar un conjunto de movimientos que involucran un retorno inmediato Desde $X(t+1)$ a $X(t)$
 Paso 6: Incrementar
 $t := t+1$, Volver a Paso 1.

Pseudocódigo de búsqueda Tabú. [10]

Método de búsqueda tabú: La búsqueda tabú trabaja como cualquier algoritmo de búsqueda: si se define una solución x , un barrio o un barrio $N(x)$, se evalúa y "cambia" a una mejor solución, pero en lugar de considerar todo el entorno o barrio, se realiza la búsqueda tabú define la vecindad reducida $N^*(x)$ como las posibles soluciones disponibles (no tabú) de la vecindad de x .

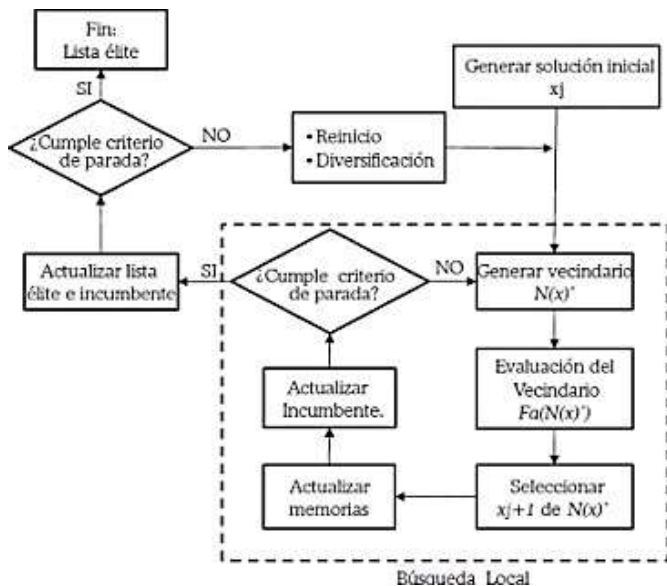


Figura7: (Emorales, 2020) [11]

Características tabú:

- Es un algoritmo de búsqueda local y se caracteriza por el uso de memoria.

- Es posible aceptar soluciones que degraden la solución actual.
- La memoria se utiliza para evitar repetir la ruta de búsqueda.
- Hay dos tipos de memoria: memoria actual o de corto plazo, que se utiliza para intensificar la búsqueda en las proximidades de la solución actual, y memoria de largo plazo, que se utiliza para llegar a lugares en el área de búsqueda que están al día
- Se guardan los atributos de la solución.

Este método es una técnica de búsqueda de entornos que se caracteriza por el uso de memoria adaptativa y estrategias especiales de resolución de problemas. Realiza búsquedas locales o de vecindario para moverse iterativamente dentro de una solución y cumplir con un criterio de detención específico. La búsqueda tabú se crea para dar "inteligencia" a los algoritmos de búsqueda locales. "la búsqueda tabú guía un procedimiento de búsqueda local para explorar el espacio de soluciones más allá del óptimo local." [12]

"La búsqueda tabú tiene sus orígenes en procedimientos combinatorios aplicados a problemas de cubrimiento no lineales en los finales de los años 70 y aplicada subsecuentemente a una diversa colección de problemas que van desde secuenciación y balance de canales de computación hasta análisis de clusters y planeamiento de espacio." [13]

DISCUSIÓN- Tras realizar un arduo análisis de buena cantidad de investigaciones y comparar diferentes artículos científicos sobre tabú y algoritmos de colonias de hormigas, nos queda claro que en estos últimos años estos algoritmos se están implementando actualmente con mayor intensidad para resolver problemas de congestión del tráfico en todo el mundo. [14] En su investigación optimizó la distribución de commodities, mencionó que el transporte es un factor importante de la economía de un país en su conjunto, y es crucial para el desarrollo económico general de las diferentes ciudades. El transporte de carga es un eslabón en la operación logística, no solo relacionado con el costo y la competitividad de la empresa, sino también relacionado con la calidad de vida de las personas relacionadas con este tipo de transporte. La complejidad de la logística de transporte de carga trae consigo efectos externos negativos para sus residentes de un lugar, como la contaminación del aire, el ruido y la congestión del tráfico. "la única forma de evitar los efectos de la congestión de tráfico es reduciendo las distancias innecesarias de transporte." [15].

Estos autores sostienen que un sistema logístico urbano ideal debería cubrir los siguientes requisitos:

- Los procesos de transporte deben realizarse con más agilidad.
- El sistema debe cubrir toda el área urbana.
- La frecuencia del sistema debe ser suficiente para responder a la aleatoriedad de las entregas.

- El sistema debe aprovechar todos los recursos logísticos de que dispone la ciudad.
- El sistema debe reducir los costos operativos y mejorar la eficiencia del servicio.
- El funcionamiento del modelo logístico no debe producir efectos negativos en la ciudad.

[3] describieron en su investigación que la optimización de rutas es siempre un problema actual. En nuestra sociedad, el crecimiento de las ciudades ha aumentado considerablemente en las últimas décadas, y hasta entonces las rutas de transporte público han sido insuficientes. Ante la aparición de nuevos núcleos urbanos, el ayuntamiento debe cambiar o agregar nuevas rutas en los servicios de transporte público, y esto debe hacerse en condiciones de sostenibilidad y presupuesto, lo que no siempre es una tarea fácil.

“El Transporte Urbano de pasajeros es un servicio primordial para toda ciudad; enlace entre las personas y el lugar en el que quieren estar. No produce bienes de consumo tangibles, pero hace posible que éstos se produzcan al trasladar diariamente a millones de trabajadores; no educa, pero lleva hasta los centros de estudio a miles de estudiantes; no proporciona diversión ni esparcimiento, pero apoya y hace posible el desarrollo de estas actividades.” [16]

Luego de analizar estos dos algoritmos, se concluye que se deben considerar las siguientes características del algoritmo tabú, que pueden mostrarnos soluciones de ruta más óptimas después de cada parada, porque todos sabemos que el sistema de transporte de nuestra ciudad se caracteriza por hacer muchas paradas según cada ruta y destino. Según [17], afirma que en Lima y Callao se concentra el 69% de la flota automotriz en Perú, razón por la cual gracias a la implementación del algoritmo Tabú para la optimización de las rutas de Lima y Callao será muy beneficioso para toda la población ya que todos podrán llegar a sus destinos en menos tiempo debido a que no habrá congestión vehicular en la ciudad de Lima.

IV. CONCLUSIÓN

Después de analizar 28 artículos científicos de diversas investigaciones las cuales la gran mayoría habla de los algoritmos Colonia de Hormigas y Búsqueda Tabú debido a que son los más óptimos en la mejora del transporte, llegamos a la siguiente conclusión:

El método que debemos implementar para optimizar el transporte urbano en la ciudad de Lima es el algoritmo tabú debido a que es muy fácil su implementación, tiene mayor respuesta, realiza la búsqueda de una manera inteligente y gracias a estos beneficios nos ayudará resolviendo los retrasos de tráfico y el congestionamiento de vehículos en el área urbana de Lima, debido a que este algoritmo nos brinda la mejor ruta al siguiente destino después que realicemos cada parada aumentando la calidad de servicio.

Esto nos conduce a tener una mejor rentabilidad del transporte público tanto para los usuarios como para los propietarios de vehículos. La aplicación de la metodología es breve y sencilla, nos brinda las mejores soluciones evitando ciclos repetitivos generando retrocesos.

Esta implementación será muy importante ya que nuestro sistema de transporte actual en Lima se está volviendo cada vez más caótico y necesitamos optimizarlo lo más rápido posible ya que de esta manera será muy beneficioso para la sostenibilidad de nuestro sistema de transporte ya que podremos llegar más rápido a nuestros destinos y nos generará ahorros en combustible y tiempo.

REFERENCIAS

- [1] Darwin, «Algoritmos Genéticos,» p. 34, 1859.
- [2] Goldberg, «Uso de algoritmos genéticos para la conformación de grupos de aprendizaje,» p. 119, 1989.
- [3] S. K. Izquierdo y C. Ventura Royo, «Optimización de rutas de transporte público con,» p. 60, 2016.
- [4] C. E. Mand, «Optimización de rutas de transporte público con Algoritmos Genéticos,» 1979.
- [5] E. Comercio, «Lima la tercera ciudad más congestionada,» 2019.
- [6] Kink, «Metodología de revisión sistemática de literatura,» p. 152, 1998.
- [7] R. Jimenez, «Metodología de la Investigación,» 1998.
- [8] J. V. Solís, «APLICACIÓN DEL ALGORITMO DE COLONIA DE HORMIGAS AL PROBLEMA DE RUTAS DE REPARTO CON DESTINOS MÓVILES,» p. 91, 2020.
- [9] EMORALES, «Búsqueda Tabú,» p. 12, 2020.
- [10] J. Argentina Granera, V. Manuel Valdivia y E. Blandón Dávila, «Aplicación informática KPTS (Kruskal, Prim, Tabu Search),» p. 90, 2016.
- [11] E. M. Manzanares, «Búsqueda Tabú,» 2020.
- [12] F. Glover, «Introducción a la búsqueda Tabú,» p. 36, 1986.
- [13] F. Glover, «Conceptos, algoritmo y aplicación al problema de las N reinas,» p. 20, 1989.
- [14] J. A. Z. CORTES, «Optimización de la distribución de mercancías utilizando un modelo genético multiobjetivo de inventario colaborativo de m proveedores con n clientes,» p. 213, 2016.
- [15] Liu, «Optimización de la distribución de mercancías utilizando un modelo genético multiobjetivo de inventario colaborativo de m proveedores con n clientes,» p. 213, 2008.
- [16] Molinero y Sánchez, «MODELO DE OPTIMIZACION PARA VEHICULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO COLECTIVO URBANO,» p. 128, 1998.
- [17] C. Almerí Veramendi, «SISTEMA DE VISION ARTIFICIAL PARA DETERMINAR EL FLUJO DE CONGESTIONAMIENTO VEHICULAR EN UNA VÍA TRANSITABLE DE LA CIUDAD DE TARAPOTO,» p. 120, 2010.