



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Sistemas Computacionales

“MÉTODOS DE ESTRUCTURAS
COMPUTACIONALES APLICADAS A
SOLUCIONES DE TAREAS ESPECÍFICAS
(DESVÍO DE RUTAS): UNA REVISIÓN LITERARIA
CIENTÍFICA”

Trabajo de investigación para optar el grado de:

Bachiller en Ingeniería de Sistemas Computacionales

Autores:

Alexander Murphy Casas Ravello
Franco Giovanni Queirolo Carrion

Asesor:

Ing. Neicer Campos Vásquez

Lima - Perú

2019

DEDICATORIA

A nuestros padres por habernos forjado como las personas que somos actualmente;
muchos de nuestros logros se los debemos a ellos. Nos formaron con disciplina y
motivación constante, para alcanzar nuestros anhelos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todos las personas llenas de gran sabiduría, quienes se esforzaron para ayudarnos a llegar al punto en donde nos encontramos en este momento. El camino no fue sencillo, pero gracias a las ganas de transmitirnos sus conocimientos y dedicación, hemos logrado un importante objetivo, culminar este trabajo de investigación y obtener nuestro grado de bachiller.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
TABLA DE CONTENIDO	4
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	10
CAPÍTULO III: RESULTADOS	12
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	16
REFERENCIAS	17

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Estadísticas de búsqueda algoritmos aplicados en el sector transporte

Tabla 2 - Comparación de algoritmos

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujograma de la metodología de búsqueda para revisión sistemática.

RESUMEN

Con la enorme cantidad de información que es procesada y almacenada a nivel mundial. Es más eficiente enseñarles a las computadoras y máquinas a pensar como seres humanos, que indicarles cómo hacer todo. Entre las diferentes aplicaciones del Aprendizaje de Máquina se diferencia en primera instancia el Aprendizaje Supervisado, No Supervisado y el Aprendizaje por Refuerzo. Para resolver problemáticas de transporte como la asignación de flota, se dispone de una gran gama de algoritmos eficientes para dar solución. En cambio el problema de optimización de rutas y frecuencias para detectar los desvíos de rutas se posee varias fuentes de complejidad como la no linealidad, la no convexidad y los múltiples objetivos. Posteriormente en este trabajo se presenta un estudio comparativo de algunos métodos de estructuras computacionales aplicadas para optimización de rutas y frecuencias de buses para posteriormente detectar los desvíos de rutas. Los métodos de estructuras computacionales fueron evaluados teniendo en cuenta el costo computacional, sus aportes y limitaciones. Destacando la técnica de algoritmos genéticos, que cubre en gran medida las dimensiones del problema en cuestión.

PALABRAS CLAVE: Algoritmos genéticos, Algoritmos heurísticos, redes neuronales, ruta más corta, transporte buses, algoritmos, perceptrón multicapa.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Actualmente, es necesario contar con el conocimiento tecnológico para poder aplicar a nuestra realidad soluciones eficientes al gran problema de supervisar el cumplimiento de rutas de las flotas vehiculares de transporte de personas por medio de la información proporcionada mediante el Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Toda vez que el GPS dota de importante información, tales como las coordenadas geográficas (latitud y longitud), velocidad, entre otros datos adicionales.

El problema del diseño y optimización de rutas y frecuencias ha sido menos estudiado por su alto grado de dificultad [Ceder y Israeli, 1998]. Baaj y Mahmassani (1991) enumeran las siguientes dificultades:

1. Formulación del problema: definir las variables de decisión y la función objetivo.
2. No linealidad y no convexidad de la problemática.
3. Naturaleza combinatoria del problema, con variables discretas.
4. Múltiples objetivos: cuando se tiene varios objetivos hace que no exista una solución óptima única, sino varias soluciones no dominadas que mejoren el funcionamiento en algún objetivo sin empeorar el resto.
5. Disposición espacial de las rutas.

En la década del 70 surgen las primeras soluciones en la optimización de rutas y frecuencias, no basados en la intuitividad, sino en la elaboración de un modelo para cumplir un objetivo (origen – destino), sin explorar la gran gama de soluciones. Posteriormente en la década del 80 se formularon nuevos algoritmos, donde se incorporaron nuevos parámetros, como la

disponibilidad de buses, la carga y la proporción de pasajeros, y frecuencias de los buses [Axhausen y Smith, 1984]. Finalmente en la década del 90 aparecieron nuevos enfoques, como la meta-heurísticas y la exploración del espacio de soluciones. La facilidad de integrar módulos existentes y de incorporar interfaces gráficas, estimulando el encontrar nuevos algoritmos, que se diferencien por su:

1. adaptabilidad: estos serán capaces de procesar los datos relativos a la demanda de viajes (origen – destino).
2. interactividad: en el proceso de toma de decisiones permitirá interactuar con conocimiento humano.
3. eficiencia: tiempos de ejecución razonables y obtener los resultados esperados.
4. flexibilidad: la facilidad de adaptarse a la planificación en corto y mediano plazo.

Por tal motivo, en la presente revisión se busca analizar y determinar los métodos de estructuras computacionales a fin de poder identificar cuáles son los más útiles para el mapeo y detección de cumplimiento de rutas de los vehículo de transporte de personas. Teniendo como protagonistas los mecanismos estructurados que permiten procesar información nueva que percibimos, para convertirla en conocimiento, siendo estos adaptables para corregir y reducir errores. Alcanzando un mayor grado de precisión y evitando trabajos repetitivos de naturaleza monótona que generan altos costos, como lo son el analizar grandes volúmenes de datos. Logrando posteriormente reconocer ciertos patrones en las conductas de los vehículos que faciliten las tareas de supervisión y predicción.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

Se diseñó un estudio descriptivo en base a una revisión sistemática de la literatura científica, aplicando una metodología de búsqueda (Fig. 1) en la base de datos REDALYC, utilizando de manera combinada los siguientes términos: “Algoritmos genéticos”, “Algoritmos heurísticos”, “Redes neuronales”, “Ruta más corta”, “Algoritmos transporte GPS”, se restringió la búsqueda de publicaciones realizadas entre el 01/01/2005 y la fecha de búsqueda 20/04/2019, para una revisión actualizada a los últimos 14 años en idioma español e inglés. Durante la búsqueda de la información de la presente investigación en REDALYC representa el 87% y en Google Académico representa el 13%.

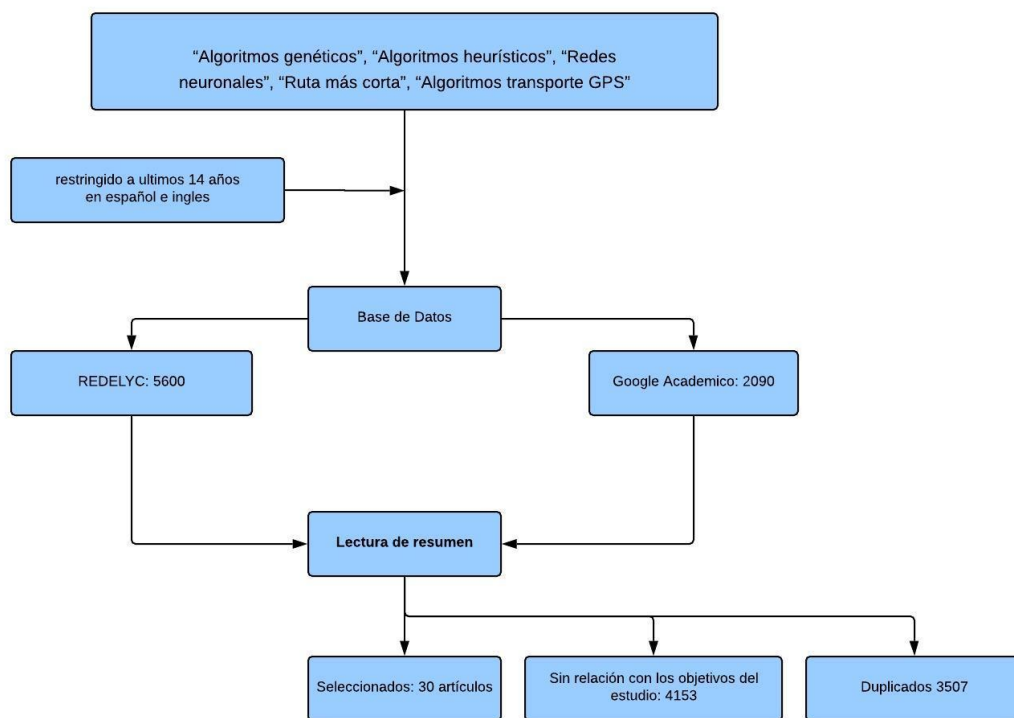


Figura 1. Flujograma de la metodología de búsqueda para revisión sistemática.

ESTADÍSTICA DE BÚSQUEDA

Años 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019

Resultados	200	407	303	1050	893	406	465	524	427	326	408	603	495	493	150
------------	-----	-----	-----	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Resultados obtenidos de las bases de datos REDALYC y GOOGLE ACADÉMICO.

Tabla 1 - Estadísticas de búsqueda algoritmos aplicados en el sector transporte

Se obtuvieron 5600 artículos de la base de datos REDALYC y 2090 artículos de la base de datos GOOGLE ACADÉMICO. Posteriormente a partir de la lectura de resúmenes se seleccionaron 30 artículos relacionados con los objetivos de la presente revisión sistemática, excluyendo artículos no relacionados y coincidencias. Los artículos seleccionados fueron analizados a partir de su lectura y registro de datos del autor, año de publicación, tipo de estudio, principales conclusiones, y la correspondencia de acuerdo al tipo de artículo analizado.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Baaj y Mahmassani (1991) La optimización de un sistema de transporte público urbano colectivo (TPUC) plantea que para maximizar la calidad del servicio, (acortar los tiempos de espera y de viaje) , y que el beneficio sea mayor para las empresas de transporte. La solución general depende de la solución de cada una de las etapas del proceso.

Israeli y Ceder (1993 y 1998) Resuelven los problemas de diseño de rutas y horarios simultáneamente, en base al modelo, de su autoría de programación matemática no lineal, con variables mixtas, múltiples objetivos (minimización de los tiempos de viaje y del tamaño de la flota). Sus principales aportes son: el tratamiento formal del problema (reduciendo algunos subproblemas a problemas clásicos como el de set covering), y el método propuesto para la identificación de las soluciones no dominada.

Ngamchai y Lovell (2000) Este método alcanza a todos los nodos de la red, sin contar con la matriz de demandas; Inicialmente puebla una determinada cantidad de conjuntos de rutas, por medio de algoritmos genéticos. Cada integrante de la población mejora en cada ciclo de un grupo de operadores genéticos cuya particularidad es que son específicos del problema no utilizando los estándares (reproducción, cruzamiento y mutación). Consta de una función objetivo la cual se evalúa a través de una formulación explícita que incluye los como variables los tiempos de viaje, la espera de los pasajeros y el costo de operación de la flota. Las frecuencias se logran con formulacion explicita, obtenida analiticamente. Esta implementación es ensayada con una red de 19 nodos. Limitada por que parte de la solución inicial no tiene en cuenta la matriz de demandas. El aporte es de nuevos

operadores genéticos que buscan mejorar soluciones de nuevas subrutas, a partir de rutas existentes de variación de flujo mayor o igual que el parámetro dado

Caramia, Carotenuto, y Confessore (2001) Utilizan algoritmos genéticos, donde la población es de cardinalidad prefijada, y cada gen corresponde a una línea; su valor alélico es un par, el primer componente indica el estado de la ruta en esa configuración (preendida o apagada) y el segundo un valor para su frecuencia. De manera “off-line” se realiza el entrenamiento en base a un determinado número de casos de prueba, donde para cada uno se efectúa un procedimiento de asignación y de análisis multicriterio para determinar el valor de la función objetivo. Se realizaron pruebas como caso de estudio de sistemas de transporte público urbano colectivo (TPUC) de la ciudad de Parma (norte de Italia), con un posible total de 80 líneas de omnibus. Este artículo está centrado en el aporte de las redes neuronales y algoritmos genético en la aproximación del subconjunto óptimo de rutas,

Gruttner, Pinninghoff, Tudela, y Díaz (2002) Los autores utilizan algoritmos genéticos en el modo clásico. La asignación de pasajeros a rutas se efectúa utilizando un modelo logit, calculando anticipadamente el uso de cada línea para cada tipo de pasajero (cada par (i,j)) y la evaluación de la calidad de las soluciones tiene en cuenta los tiempos de viaje y de espera. Una problema significativo, es la implementación de los operadores genéticos, en exclusivo los de cruzamiento y conversión; dado que las soluciones están formadas por rutas, estas deben ser conexas (secuencias válidas de nodos), y este estado debe chequearse al momento de utilizar los operadores. Los resultados obtenidos se citan según la diferenciación de los parámetros reguladores del trade-off entre los diferentes objetivos, constando en rutas largas centradas en zonas de demanda alta cuando es priorizada al operador, con muchas rutas dispersas cuando se prioriza a los usuarios.

En los Ángeles (Chile) se realizó el caso de prueba con dimensión no especificada.

Como propone **R.Becerra Guevara (2014)** en su hipótesis: Utilizando las redes neuronales de mapas auto-organizados de Kohonen y una red de retropropagación (backpropagation) se desarrolla un Modelo Neuronal de la demanda de Transporte.

CUADRO COMPARATIVO DE ALGORITMOS

Tabla 2 - Comparación de algoritmos

Autor(es)	Modelo	Generación	Evaluación	Mejora	Aportes	Limitaciones
Baaj y Mahmassani (1991)	Baaj y Mahmassani (1991)	Caminos más cortos entre pares de nodos de alta demanda	Asignación: min transferencias y tiempo, prop. frecuencias	Combinación y división de rutas (heurística)	Modularización y parametrización	No hay exploración del dominio de parámetros
Shih, Mahmassani y Baaj (1998)	Baaj y Mahmassani (1991) aumentado	Idem anterior	Idem anterior	Idem anterior	Centros de transferencia y flota heterogénea	Idem anterior
Israeli y Ceder (1993 y 1998)	Israeli y Ceder (1993 y 1998)	Cubrimiento de conjuntos (heurística)	No especificada	Búsqueda local con prevención de ciclos	Formalización Optimización multiobjetivo	Caso de prueba pequeño
Pattnaik, Mohan y Tom (1998)	Baaj y Mahmassani (1991)	Exhaustivo, muchas rutas factibles	Idem Baaj y Mahmassani (1991)	Selección del subconjunto óptimo de rutas (A. Genéticos)	Metaheurísticas para búsqueda eficiente	No se especifica
Ngamchai y Lovell (2000)	Ngamchai y Lovell (2000)	Aleatoria	No especificada	Operadores genéticos específicos	Frecuencias óptimas Procedimiento de mejora	Generación no tiene en cuenta la demanda
Rao, Muralidhar y Dhingra (2000)	Baaj y Mahmassani (1991)	Idem Baaj y Mahmassani, con identificación de corredores	Idem Baaj y Mahmassani (1991)	Optimización de rutas y frecuencias en dos fases (A. Genéticos)	Metaheurísticas para exploración del dominio de los parámetros	No se especifica
Caramia, Carotenuto y Confessore (2001)	No se especifica	Rutas preestablecidas	Asignación "off-line" Evaluación con redes neuronales	Selección del subconjunto óptimo de rutas y determinación de frecuencias (A. Genéticos)	Aplicable a planificación a corto y mediano plazo	No se especifica
Gruttner, Pinninghoff, Tudela y Díaz (2002)	Gruttner, Pinninghoff, Tudela y Díaz (2002)	Aleatoria	Asignación utilizando modelo logit	A. Genéticos en la estructura de las rutas	Implementación sencilla	Generación no tiene en cuenta la demanda
Castillo, P. (2006)	Castillo, P. (2006)	Optimización de perceptrones multicapa mediante algoritmos evolutivos	Se han investigado dos funciones de evaluación, según se desee obtener	Ses mejoró la implementación del método G-Prop	Se ha presentado una nueva abstracción de computación evolutiva (Objetos Evolutivos)	No se especifica

MLP con mayor
capacidad de
aproximación

R.Becerra
Guevara
(2014)

R.Becerra
Guevara
(2014)

Generar una
metodología de
entrenamiento

No especificada

Modelación de
la demanda de
transporte

Proponer una
metodología de
entrenamiento de
la red neuronal
para el caso
estudiado.

El alcance de
aplicación a
instituciones
públicas y
privadas que
requiera
predecir la
demanda de
transporte

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Cabe destacar que la selección de características de estos métodos son necesarias para el reconocimiento de patrones, teniendo factores como el costo computacional, el conocimiento del tipo de datos que manejaremos y nuestros objetivos enfocados en los detalles del problema al que se dará solución. Por tal motivo, se ha realizado una recopilación de los algoritmos más representativos para la optimización de rutas y frecuencias de buses para detectar los desvíos de rutas. Por ende, entre la gran gama de métodos revisados destacan los Algoritmos Genéticos, toda vez que el costo de implementación y la línea de aprendizaje son menores a comparación de los demás métodos. Siendo esta herramienta el mejor apoyo en el proceso de optimización combinatorio para la toma de decisiones. Teniendo en cuenta que la efectividad de dicha solución a un alto margen, solo se podrá saber, después que su implementación, satisfaga todas las pruebas necesarias con éxito en un ambiente supervisado y no supervisado.

REFERENCIAS

1. Hurtado González, C., & Izquierdo Rivera, B., & López Aguado Hernández, M., & Cruz, A., & Gómez Ramírez, E. (2004). Mejoras a un Algoritmo Genético Simple, aplicando conceptos de Computación Evolutiva. Revista del Centro de Investigación. Universidad La Salle, 6 (21), 11-24.
2. MUÑOZ B., C., & GALLEGO, R., & TORO O., E. (2011). COMPARACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL ALGORITMO GENÉTICO DE CHU-BEASLEY Y EL ALGORITMO COLONIA DE HORMIGAS EN EL PROBLEMA DE P-MEDIANA.. Scientia Et Technica, XVII (47), 213-218.
3. Piñero, P., & Arco, L., & García, M., & Acevedo, L. (2003). Algoritmos genéticos en la construcción de funciones de pertenencia borrosas. Inteligencia Artificial. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial, 7 (18), 25-35.
4. González-Vargas, G., & González Aristizábal, F. (2007). Metaheurísticas aplicadas al ruteo de vehículos. Un caso de estudio. Parte 3: Genetic Clustering and Tabu Routing. Ingeniería e Investigación, 27 (2), 106-113.
5. RESTREPO C, J., & SÁNCHEZ C., J. (2004). APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE GRAFOS Y EL ALGORITMO DE DIJKSTRA PARA DETERMINAR LAS DISTANCIAS Y LAS RUTAS MÁS CORTAS EN UNA CIUDAD. Scientia Et Technica, X (26), 121-126.
6. Carvajal- Pérez, R. (2011). Un Algoritmo Genético Especializado en Planeamiento de Redes de Distribución Parte I. Fundamentos Técnicos del Algoritmo. Ingeniería Energética, XXXII (1), 72-76.
7. Giraldo, L., & Delgado, E., & Riaño, J., & Castellanos Domínguez, G. (2006). Selección de características usando modelo híbrido basado en algoritmos genéticos. Ingeniería e Investigación, 26 (3), 113-119.
8. Toro-Ocampo, E., & Franco-Baquero, J., & Gallego-Rendón, R. (2016). Modelo matemático para resolver el problema de localización y ruteo con restricciones de capacidad considerando flota propia y subcontratada. Ingeniería. Investigación y Tecnología, XVII (3), 357-369.
9. González Vagas, G., & González Aristizábal, F. (2006). Metaheurísticas aplicadas al ruteo de vehículos. Un caso de estudio. Parte 1: formulación del problema. Ingeniería e Investigación, 26 (3), 149-156.

10. Poveda Ch., R., & Gómez P., J., & León, E. (2008). GRISLAS: Un algoritmo genético paralelo que combina los modelos de grillas e islas para encontrar soluciones óptimas cercanas al problema del agente viajero. *Revista Avances en Sistemas e Informática*, 5 (3), 13-19.
11. Soto, D., & Soto, W., & Pinzón, Y. (2008). Una metaheurística híbrida aplicada a un problema de planificación de rutas. *Revista Avances en Sistemas e Informática*, 5 (3), 135-144.
12. Bermeo Muñoz, E., & Calderón Sotero, J. (2009). Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte. *El Hombre y la Máquina*, (32), 52-67.
13. Macías, B., & Amaya, C. (2016). Algoritmo memético con operadores de inteligencia artificial para el CARP con inicio y fin no determinado y bi-objetivo. *Ingeniería y Ciencia*, 12 (23), 25-46.
14. Elizalde Medrano, A., & Rojas Ramírez, J., & Tejeida Padilla, R. (2013). Medición Sistemática del Desempeño en el Transporte de Carga con GPS. *Conciencia Tecnológica*, (45), 24-30.
15. Albornoz, V., & Johns, E. (2011). Localización de paraderos de detención y diseño óptimo de rutas en el transporte de personal. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 19 (3), 457-472.
16. Duarte, S., & Becerra, D., & Niño, L. (2008). Un Modelo de Asignación de Recursos a Rutas en el Sistema de Transporte Masivo Transmilenio. *Revista Avances en Sistemas e Informática*, 5 (1), 163-171.
17. Moreno Navarro, J. (2006). Análisis con SIG de la red de transporte intermodal entre Marruecos y la Unión Europea. Evaluación de rutas y enclaves estratégicos. *Cuadernos Geográficos*, (39), 203-219.
18. Bravo C., G., & Castro B., H., & Bautista M, L., & Bocarejo S., J., & Rodríguez-Valencia, Á., & Pérez-Arteaga, P., & Velázquez G., S. (2013). Retos tecnológicos para medir el tráfico en Bogotá mediante GPS y comunicación celular. *Revista de Ingeniería*, (38), 45-50.
19. Guerrero Enamorado, A., & Pérez Pupo, I., & Ventura, S., & Morell, C., & Piñero Pérez, P. (2017). Evaluación de proyectos usando sistemas basados en algoritmos genéticos de aprendizaje de reglas. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 11 (4), 39-56.
20. MUÑOZ V., D. (2006). Diseño y entrenamiento en paralelo de redes neuronales, por medio de algoritmos genéticos desordenados y altamente recursivos. *Scientia Et Technica*, XII (30), 391-396.
21. Castillo, P. (2006). Optimización de perceptrones multicapa mediante algoritmos evolutivos. *Inteligencia Artificial. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, 10 (30), 91-94.

22. Espinel Gómez, B., & Navarro Peña, J., & Villa Villarreal, R. (2009). Sistema de seguridad vehicular por medio de una interfase celular y sistema GPS a través de mensajes de textos. *PROSPECTIVA*, 7 (1), 23-29.
23. Antunez, R., & Hernández Montero, L. (2011). Análisis geométricos en SIG basada en un algoritmo genérico independiente del sistema de referencia. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 5 (3), 1-18.
24. Gómez Otero, P. (2000). Estudio de los Algoritmos Genéticos para el desarrollo de sistemas de control. *Ingeniería y Desarrollo*, (8), 130-138.
25. Aler, R., & Blázquez, F., & Camacho, D. (2001). Experimentación en programación genética multinivel. *Inteligencia Artificial. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, 5 (13), 10-22.
26. GÓMEZ ROJAS, G., & HENAO LÓPEZ, J., & SALAZAR ISAZA, H. (2004). ENTRENAMIENTO DE UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL USANDO EL ALGORITMO SIMULATED ANNEALING. *Scientia Et Technica*, X (24), 13-18.
27. Mauttone Vidales, A. D. (2005). Optimización de recorridos y frecuencias en sistemas de transporte público urbano colectivo.
28. Ceder, A. e Israeli, Y. (1998) User and Operator Perspectives in Transit Network Design. *Transportation Research Record*, Vol 1623, 3-7.
29. Ceder, A. y Wilson, N. H. M. (1986) Bus Network Design. *Transportation Research*, Vol 20B(4), 331-344.
30. Goldberg, D. (1989) *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Addison-Wesley.