



XI CSMIO

**UDLAP**®



---

# Contenido

Bienvenida de la presidenta de la SMIO	1	Métodos de solución para el problema del agente viajero familiar capacitado	16-17
Bienvenida del comité científico	2	Location and dispatching of two types of ambulances considering partial coverage	18
Bienvenida del comité local	3	Utilización de árboles de búsqueda para la minimización de patrones de corte de utilización máxima.	19-20
Comité local	4		
Comité científico	5-6	Propuesta de un modelo de distribución de recursos de la Secretaría de Salud en las entidades federativas, basado en tres componentes: necesidad, uso y calidad de los servicios de salud a la persona	21-22
Planeristas	7		
Concurso de Premio de Tesis	8	Conjunto Dominante Total Global y sus Algoritmos	23-24
Resúmenes			
Metaheurísticas para resolver problemas de programación bi-nivel: una revisión de literatura exhaustiva	9	Impact of the demand pattern for an aggregate production planning with uncertainty in human resources production capacity and flexibility in working hours.	25
A simulation-optimization approach for a just-in-time production policy and maintenance strategy subject to a service level constraint and random demand	10	Medición del desempeño organizacional de la Manufactura Esbelta usando HFLTS	26
Generación automática de horarios universitarios mediante programación entera. Un caso de estudio	11	Assessing Constructive Heuristics for the Prize-Collecting Traveling Salesman Problem	27
Modelación y optimización de rutas para la recolección de residuos sólidos usando optimización binivel y programación dinámica.	12	Estrategias de control para optimizar el transporte público	28
Improving user retention in K-6 edutainment through collaborative filtering and clustering	13	A capacitated facility location problem considering a disruption due external factors.	29
Una formulación exacta y heurística para el problema de zonificación agrícola	14-15	Un algoritmo voraz iterado aplicado al problema de regionalización de centros de salud	30
		Mejoramiento de la atención al cliente mediante la aplicación de Teoría de Colas en una PYME de sector comercial	31-32

---

---

# Contenido

A bi-level optimization framework for Micro and Small Enterprises (MSEs) in Hidalgo, Mexico	33	Reducing waiting times in a health center using hybrid discrete-event simulation and optimization model	51-52
Integrity of growing items purchased for a livestock business in compliance with the carbon tax regulation	34	Variaciones Conjeturales Consistentes como Estrategias Optimas del Equilibrio de Nash	53-54
An economic lot scheduling problem with the effects of the carbon tax	35	Un enfoque multiobjetivo para el diseño de una cadena de suministro circuito cerrado sustentable con instalaciones híbridas	55
La simulación en ambiente de la industria 5.0	36	Modelación dinámica y control óptimo de una cadena de suministros automotriz multiproducto con combinación de partes	56
Un modelo de inventario para productos que crecen con calidad imperfecta, errores de inspección, emisiones de carbono y faltantes con pedidos atrasados completos	37-38	Designing Optimal Districts for On-time Last-mile Express Delivery Services through a Heuristic Approach	57
Una metaheurística GRASP para un problema de diseño territorial en instituciones financieras	39-40	Clasificando soluciones factibles binivel de un problema de localización competitiva bi-objetivo	58
Algoritmo PSO con extensión de TOPSIS para la valoración de aceites esenciales	41	Planes de viaje en transporte público con preferencias del usuario mediante técnicas de inteligencia artificial	59-60
Modelo de optimización de la asignación de productos en un almacén para reducir la distancia recorrida en el proceso de preparación de pedidos	42-43	Planes de viaje en transporte público con preferencias del usuario mediante técnicas de inteligencia artificial	61
La cantidad económica a producir considerando procesos de calentamiento y enfriado	44	Aplicación de la simulación de sistemas para determinar la cantidad de personal en el proceso de atención al cliente de un restaurante	62-63
Loading-Unloading Areas for Freight Vehicles in Emerging Markets: Field Experiments to Assess the Environmental, Social, and Economic Benefits	45-46	Planeación de uso de recursos en un sistema de transporte interurbano	64-65
Algoritmo de Recocido Simulado Modificado para la solución de un problema de selección de proveedores y asignación de cantidades a ordenar.	47-48	El problema de la mochila cuadrática múltiple: una solución con algoritmos de estimación de distribuciones	66-67
An algorithm based on kernel search for solving the thermal unit commitment problem	49-50		

---

---

# Contenido

Detección de comunidades en la red insumo-producto mundial (1995-2018)	68	¿Cuánto comprar y cómo cortar? Un modelo de programación dinámica para optimizar el control de inventario de una compañía de muebles	81-82
Detección de comunidades en la red insumo-producto mundial (1995-2018)	65	Planeación del transporte urbano enfocada a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero	83
A fast metaheuristic for the $\alpha$ -neighbor p-center problem	69-70	Modelo para la planificación de unidades médicas en el Estado de Guanajuato.	84
Implementación de una solución para el Problema de Enrutamiento De Vehículos Con Capacidad Limitada (CVRP) mediante los métodos de aleatoriedad - intercambio, Búsqueda Tabú e intensificación.	71	Un algoritmo VNS para resolver un problema de enrutamiento de vehículos capacitados con un centro de servicio para el sector minorista	85
Un modelo de ruteo de vehículos dinámico para un problema de distribución de ayuda humanitaria considerando equidad en la demanda	72-73	Una aplicación de un problema de secuenciamiento de tareas	86
Asignación de recursos hospitalarios a pacientes de emergencias haciendo uso de metaheurísticas	74	Clasificando soluciones factibles binivel de un problema de localización competitiva bi-objetivo	87-89
Service planning optimization with balanced wages	75	Un nuevo algoritmo para optimización multi-objetivo	90
Algoritmo para Resolver el Problema de los Vendedores Viajeros Limitado Euclidiano con un Depósito	76	Multi stakeholder optimisation model for the academic timetabling problem	91-92
Análisis de mitigación de CO2 con viajes interurbanos en vehículos eléctricos	77	Optimización bi-objetivo de una cadena de suministro verde agro-industrial mediante un MILP y un algoritmo metaheurístico multiarranque.	93
Integración del enfoque de sostenibilidad y la selección de proveedores en la planeación agregada de la producción mediante la programación multiobjetivo	78	Identificación de albergues de referencia y de respaldo para atender situaciones de emergencia considerando disponibilidad.	94-95
Optimization economic dispatch problem integrating renewable energies and storage employing a mathematical programming model	79-80	Una matheurística para resolver un problema de planeación de producción en una ensambladora	96

---



---

# Contenido

Optimización de una cadena de suministro de tres etapas mediante un enfoque evolutivo multiobjetivo.	97	Optimización bi-objetivo de horarios sincronizados y asignación de vehículos con interlineado en transporte público	115-116
A compact quadratic integer program for the depot-free multiple traveling salesperson problem	98-99	Aprendizaje automático binivel: Una revisión bibliográfica	117
Una perspectiva binivel para el análisis de la cadena de suministro en la valorización de cenizas de biomasa como materiales cementantes suplementarios	100	A solution algorithm for optimizing the kidney paired donation process in Mexico	118
Propuesta para agendar para calendarizar pacientes en entregas de oxígeno medicinal	101	Análisis del tránsito vehicular en función de la nueva estación Santa Fé del tren interurbano Toluca-Ciudad de México; 2023	119-120
Simulación de una línea de surtido con tecnología Pick to light	102-103	Asset Selection and Portfolio Optimization using a Multi-Objective Evolutionary Algorithm	121
Gestión de una cadena de suministro verde para la industria textil	104-105	Evaluación multicriterio de la red de refugios temporales en el Estado de México	122-123
Minería de procesos aplicada a el análisis del proceso de almacenamiento y despacho de producto terminado en un almacén de la industria automotriz	106-107	Asignación de horarios en transporte público considerando retenciones de vehículos y funciones de sincronización gradual	124-125
Asignación de salas de cómputo basada en prioridades para un problema de programación de horarios de cursos universitarios	108-109	The Contact Center Best Time to Call Problem	126
A lexicographic optimization model for personnel scheduling at container terminals	110	Optimización de la calendarización de imprenta para una casa editorial	127-128
Un modelo para la estimación de la matriz Origen-Destino considerando un problema de asignación de tránsito con capacidades.	111-112	Problema de asignación de horarios generalizado para una red de transporte público optimizando líneas independientes, eventos de transferencia y líneas de traslape.	129-130
Programación de vehículos para una línea de tránsito con buses eléctricos considerando la carga en ruta y ubicación de las estaciones de carga.	113-114	Implementación del problema generalizado de diseño de horarios de un sistema de transporte de autobuses, caso de estudio en Chile	131-132

---

---

# Contenido

Logística de puntos de distribución para comercio electrónico en la última milla	133	Comparativa de soluciones del problema del agente viajero con branch and bound y algoritmo evolutivo	140-141
Stable matching in the case of imprecise preferences	134	El problema de ruteo sobre arcos con capacidad: Modelos y métodos de solución	142
Herramienta de Apoyo a la Decisión para Administración del Tiempo Inteligente de Estudiantes Universitarios	135-136	Sobre la elección de una Big M grande o pequeña	143
Un modelo de optimización para detectar el abandono académico en mujeres de comunidades rurales	137	Un problema binivel de localización de centros de transferencia y selección de plantas de tratamiento para residuos sólidos urbanos	144
Formulación matemática para un problema de ruteo de vehículos inspirado en el sector turístico, adaptado a diversas funciones objetivo.	138-139		

---

# Bienvenida de la presidenta de la SMIO



A nombre de la Sociedad Mexicana de Investigación de Operaciones (SMIO) es para mí un placer darles la bienvenida al XI Congreso que organiza nuestra Sociedad los días 18, 19 y 20 de Octubre en las instalaciones Universidad de Las Américas Puebla.

Quiero agradecerles de corazón el que hayan decidido participar en este congreso y nos tomemos unos días para intercambiar opiniones, discutir problemas y volver a relacionarnos con la normalidad que creímos perdida no hace tanto. Si algo hemos aprendido de la reciente pandemia es que, aunque la tecnología nos une también es una excusa perfecta para alejarnos y encerrarnos en nuestros problemas. Debemos aprovechar la oportunidad que nos brinda el XI CSMIO para compartir experiencias y sentirnos parte de una comunidad como es la SMIO. Invito especialmente a los estudiantes a que convivan con el resto de participantes, se animen a entablar conversaciones en los descansos y acudan a las conferencias plenarias que se han programado para este evento. Uno de los grandes objetivos de estos congresos es el de fortalecer lazos entre nosotros y donde mejor se puede llevar a cabo es en las actividades sociales y los descansos.

Muchos son los desafíos que nos encontramos en nuestro día a día como investigadores, desde la falta de recursos hasta la dificultad para colocar nuestras investigaciones en las revistas más prestigiosas. A todo esto, se le suma ahora el auge de la Inteligencia Artificial, que amenaza con poner en duda nuestra valía como investigadores imitando nuestros comportamientos, y escribiendo artículos como si de una investigación seria se tratara. Es un duro desafío, pero debemos ser creativos y originales para seguir haciendo esto que más nos gusta, enfrentarnos a los problemas que se nos plantean desde diversos ámbitos y encontrar una solución satisfactoria que nadie, ni una máquina, antes pudiera imaginar.

Antes de finalizar, quiero agradecer el trabajo de los máximos responsables en la organización de este XI CSMIO. Comienzo por el comité local, formado por Nancy Arratia, Paulina Ávila, Dolores Luna y Juan Díaz, que han diseñado un congreso que conjuga perfectamente la agenda académica con la social. A las autoridades de la UDLAP que amablemente nos prestan sus instalaciones para este evento. No me quiero olvidar del Comité Científico, liderado por Omar Ibarra, que ha diseñado un programa académico acorde a los tiempos con interesantes conferencias plenarias impartidas por investigadores de primer nivel. También a los organizadores del Premio SMIO a la Mejor Tesis, que un año más logran reunir en este congreso a los finalistas en las distintas categorías, dando la oportunidad a más estudiantes de participar en el congreso. Finalmente, no me quiero despedir si darles las gracias a todos Uds, ya que sin su participación como ponentes el congreso no podría llevarse a cabo.

Espero que disfruten estos días en Cholula y Puebla, tengan tiempo también para apreciar su arte, cultura, y ¡cómo no! su gastronomía.

Marta Cabo  
Presidenta de la SMIO.

A handwritten signature in orange ink that reads "Marta Cabo". The signature is fluid and cursive, enclosed within a thin orange oval outline.



## **Bienvenida del comité científico.**

Estimados colegas,

Es un privilegio darles la más cordial bienvenida al XI Congreso de la Sociedad Mexicana de Investigación de Operaciones. Nuestro evento ofrece un espacio en donde podamos compartir nuestros descubrimientos, explorar nuevas ideas y establecer conexiones valiosas en un ambiente de respeto y aprendizaje mutuo. Año con año reunimos a entusiastas de la aplicación del conocimiento, la innovación científica y el desarrollo tecnológico, en el área de investigación de operaciones.

Durante los próximos días, seremos testigos de presentaciones de problemas pertinentes en los distintos sectores de la sociedad, ideas innovadoras y resultados de investigación de gran calidad, mediante un programa que ha sido cuidadosamente diseñado para brindar una experiencia enriquecedora que inspire la excelencia en la investigación y la aplicación del conocimiento.

En nombre del Comité Científico, les deseamos un congreso productivo así como una estadía placentera. Esperamos que aprovechen al máximo esta oportunidad para compartir, colaborar, y aprender, así como crear amistades. Estamos seguros de que las ideas y conexiones que se forjarán en estos días, tendrán un impacto significativo en sus proyectos venideros.

¡Saludos!

Atentamente,

Presidente del Comité Científico

## **Bienvenida del comité local.**

A nombre del comité organizador local, es un gusto darles la más cordial bienvenida al XI Congreso de la Sociedad Mexicana de Investigación de Operaciones (CSMIO).

El CSMIO, es un evento que busca divulgar los métodos y aplicaciones de la investigación de operaciones y con ello beneficiar a la sociedad; además de promover la colaboración entre los asistentes.

En esta ocasión la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP) tiene el honor de ser sede de tan importante evento, donde se reúnen alumnos, investigadores y especialistas en el área de investigación de operaciones provenientes de México y de diversas partes del mundo.

Agradecemos la participación de todos los alumnos e investigadores que enviaron su contribución. Nuestro reconocimiento especial a la mesa directiva de la SMIO, a todos los miembros del Comité Científico y los moderadores de mesa por el apoyo otorgado.

Deseamos y esperamos que el programa científico que hemos preparado para ustedes sea de su interés. En nombre del comité organizador, les deseamos una feliz estancia, que disfruten de la amplia oferta gastronómica y cultural del Estado de Puebla.

# Comité local

**Escuela de Negocios y Economía,  
UDLAP**

PAULINA ALEJANDRA AVILA TORRES



NANCY MARIBEL ARRATIA MARTÍNEZ



**Escuela de Ciencias, UDLAP**

JUAN ANTONIO DÍAZ GARCÍA



**Escuela de Ingeniería, UDLAP**

DOLORES EDWIGES LUNA REYES



# Comité científico

Omar Ibarra (UANL)

PRESIDENTE DEL COMITÉ  
CIENTÍFICO

César Augusto Henao

UNIVERSIDAD DEL NORTE,  
COLOMBIA

Zaida Estefanía Alarcón

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO, MÉXICO

Claudia Orquídea López

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO, MÉXICO

Néstor Miguel Cid

CENTRO GEO, MÉXICO

Homero Larrain

PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE CHILE, CHILE

Yajaira Cardona

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
COAHUILA, MÉXICO

Anabel Martínez

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE  
PACHUCA, MÉXICO

Martha Selene Casas

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN  
MATEMÁTICAS, UNIDAD  
MONTERREY, MÉXICO

Jaime Mora

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE  
ESTUDIOS SUPERIORES DE  
MONTERREY, CAMPUS ESTADO DE  
MÉXICO, MÉXICO

# Comité científico

Jose Luis Ceciliano

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE  
ESTUDIOS SUPERIORES DE  
MONTERREY, CAMPUS SONORA  
NORTE, MÉXICO

Carmen Galé

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA,  
ESPAÑA

Edgar Possani

INSTITUTO TECNOLÓGICO  
AUTÓNOMO DE MÉXICO, MÉXICO

María Angélica  
Salazar

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
NUEVO LEÓN, MÉXICO

Marco Augusto Miranda

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

Samuel Nucamendi

UNIVERSIDAD PANAMERICANA,  
CAMPUS GUADALAJARA, MÉXICO

Flavia Bonomo

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES,  
ARGENTINA

Efraín Ruíz

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE  
SALTILLO, MÉXICO

María Guadalupe Villarreal

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE  
ESTUDIOS SUPERIORES DE  
MONTERREY, CAMPUS  
MONTERREY, MÉXICO



# Plenaristas



.....  
**Dr. Pavel Albores Barajas**

El Dr. Pavel Albores (FHEA) es un reconocido experto en Gestión de Operaciones y Cadenas de Suministro, catedrático en la Universidad de Aston en Birmingham, Reino Unido. Con un doctorado de la Universidad de Strathclyde, Escocia, y una Maestría en Gestión de Manufactura, su impresionante currículum incluye más de 90 publicaciones en áreas clave como gestión de desastres, logística humanitaria y simulación. Su compromiso con la excelencia académica se refleja en su liderazgo y contribuciones a la investigación y la formación de estudiantes de doctorado.



.....  
**Dr. Justo Puerto**

El Dr. Justo Puerto es un destacado académico de la Universidad de Sevilla, con una amplia experiencia en investigación y docencia en el campo de la Estadística e Investigación Operativa. Su destacada carrera incluye numerosas publicaciones, proyectos de investigación y contribuciones a la comunidad académica internacional. Su enfoque en áreas como optimización discreta, teoría de juegos y análisis de redes complejas demuestran su versatilidad y relevancia en el mundo académico. Además, su compromiso con la difusión del conocimiento matemático y su colaboración con la industria y la sociedad le han valido reconocimientos importantes en su campo, como la medalla SEIO y el premio SEIO-FBBVA.



.....  
**Dra. Begoña Vitoriano**

Begoña Vitoriano es una destacada experta en Ingeniería Matemática e Investigación Operativa. Ha publicado más de 60 artículos de investigación y coordinado programas académicos en la Universidad Complutense de Madrid y la Universidad Politécnica de Madrid. Su experiencia incluye proyectos de cooperación internacional en El Salvador, Perú y Mozambique. Sus investigaciones se centran en Optimización Estocástica, Toma de Decisiones Multicriterio y logística sostenible en diversos sectores. Además, desempeña un papel editorial y de liderazgo en su campo.

## Concurso de Premio de Tesis.

La Sociedad Mexicana de Investigación de Operaciones (SMIO) convocó, a través del Comité Premio SMIO Tesis 2023, a participar en la 3a. Edición de los Premios SMIO a las Mejores Tesis de Licenciatura, Maestría y Doctorado.

Esta edición estuvo a cargo del comité compuesto por la Dra. Yajaira Cardona Valdés (Universidad Autónoma de Coahuila, Presidenta), Dr. Adrián Ramírez Nafarrate y Dr. Sergio Medina González (ambos del Tecnológico de Monterrey).

El Premio SMIO tiene como objetivo reconocer el trabajo de estudiantes y sus supervisores en el área de la Investigación de Operaciones. Asimismo, busca apoyar a los jóvenes investigadores en la continuación de sus trabajos de investigación.

La convocatoria estuvo dirigida a quienes se hayan titulado en una Institución Mexicana de Educación Superior o Centro de Investigación, públicas o privadas entre el 1 de enero de 2022 y el cierre de la convocatoria (30 mayo del 2023).

En esta edición se recibieron un total de 9 tesis, de las cuales 5 fueron de licenciatura, 2 de maestría y 2 de doctorado. De las tesis de licenciatura se recibieron dos tesis conjuntas.

Se recibieron documentos de un total de 8 universidades tanto públicas como privadas, incluyendo la Universidad Autónoma de Nuevo León, la Universidad Autónoma de Tlaxcala, la Universidad del Estado de Hidalgo, el Tecnológico Nacional de México, el CIMAT, la Universidad Panamericana, la Universidad de Monterrey y la Universidad de las Américas Puebla.

En la primera fase de evaluación de trabajos de tesis participaron 18 profesores, también de universidades públicas y privadas, a quienes les agradecemos enormemente por el tiempo, y compromiso en la evaluación de los trabajos de tesis. Durante esta fase los criterios de evaluación fueron originalidad del trabajo, pertinencia, suficiencia y actualidad de la revisión de literatura, dominio del conocimiento aplicado, contribución de la tesis a la teoría o práctica de la investigación de operaciones, aplicabilidad de los resultados y cuando aplicó, calidad de las publicaciones, reputación de la revista y la pertinencia de haber realizado el trabajo entre dos o más personas para tesis en equipo.

Como resultado de esta primera fase del proceso de evaluación, 7 tesis fueron seleccionadas para pasar a la segunda fase, que consiste en la presentación oral del trabajo en el marco del XI Congreso de la Sociedad Mexicana de Investigación de Operaciones a celebrarse en la Universidad de las Américas Puebla, el próximo 18, 19 y 20 de octubre de 2023. Dichas presentaciones serán evaluadas considerando la calidad del material audiovisual, dominio del tema y conocimiento aplicado, claridad en la exposición y respuesta a preguntas del jurado

Los tres primeros lugares de cada categoría recibirán un reconocimiento y se premiará económicamente al primer lugar, de acuerdo a lo estipulado en la convocatoria. La premiación se llevará a cabo durante la Cena de Gala del XI CSMIO.

# Metaheurísticas para resolver problemas de programación bi-nivel: una revisión de literatura exhaustiva

José-Fernando Camacho-Vallejo<sup>1\*</sup>, Carlos Corpus<sup>2</sup>, Juan G. Villegas<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico de Monterrey, Escuela de Ingeniería y Ciencias, Nuevo León, México.  
<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México.  
<sup>3</sup>Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

\* Correo electrónico: fernando.camacho@tec.mx

**Palabras claves** — Metaheurísticas, Programación bi-nivel, Problemas líder-seguidor

Problemas líder-seguidor Un modelo de programación bi-nivel representa la relación en un proceso de toma de decisiones bajo un enfoque jerárquico de dos niveles, tal como lo mencionan Dempe y Zemkoho (2020). El nivel superior está asociado al tomador de decisiones con mayor jerarquía, y el nivel inferior al de menor jerarquía. Este enfoque de modelación resulta en problemas complejos, por lo que su resolución de manera exacta se ve limitada. Por lo tanto, han sido resueltos mediante algoritmos metaheurísticos. Recientemente, se ha notado un considerable aumento en esta línea de investigación.

Nos dimos cuenta de que faltaba una revisión detallada de las metaheurísticas aplicadas a resolver problemas de programación bi-nivel. Ese hecho nos motivó a realizar este estudio, el cual incluye 265 trabajos distribuidos en artículos en revistas, memorias de congreso y capítulos de libro, todos con arbitraje estricto. Cabe mencionar que hay un libro editado por Talbi (2013), en donde se presentan algunas metaheurísticas para resolver problemas bi-nivel específicos, y hay una revisión de literatura de algoritmos evolutivos hecha por Sinha et al. (2017). Los autores se enfocaron en algunos algoritmos evolutivos, no en todos, y no consideraron otro tipo de metaheurísticas. En nuestro estudio, consideramos de manera exhaustiva todas las metaheurísticas diseñadas para resolver problemas bi-nivel, sin importar su analogía y/o inspiración. Más a detalle, hicimos un análisis de los componentes de cada metaheurística para identificar los más usados y las combinaciones entre ellos.

Además, se verificaron los aspectos cruciales que se toman en cuenta en problemas bi-nivel. Por ejemplo, si la metaheurística fue diseñada para resolver el enfoque de solución anidado, la reformulación a un solo nivel, el co-evolutivo, o la transformación a un problema bi-objetivo. Se identificó si se consideraba el enfoque optimista o pesimista en caso de haber múltiples soluciones óptimas en el nivel inferior para una decisión fija del nivel superior. Todo esto se registró y se obtuvieron resultados muy interesantes y algunos otros preocupantes. Es por esto que se identifican algunas buenas y malas prácticas.

Para finalizar, se presentan algunas áreas de oportunidad para investigar sobre este tema. Así como algunos enfoques prometedores que han sido usados recientemente.

## Referencias

S. Dempe, y A. Zemkoho. Bilevel optimization. Advances and Next Challenges. Springer. 2020.

A. Sinha, P. Malo, y K. Deb. A review on bilevel optimization: From classical to evolutionary approaches and applications. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 22(2):276–295, 2017.

E.-G. Talbi. A taxonomy of metaheuristics for bi-level optimization. Springer, 2013



# A simulation-optimization approach for a just-in-time production policy and maintenance strategy subject to a service level constraint and random demand

Héctor Rivera-Gómez<sup>1\*</sup>, Julio Cesar Velázquez-López<sup>1</sup> y Jaime Garnica-González<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Area Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mineral de la Reforma, Hidalgo

\* Correo electrónico: hector\_rivera@uaeh.edu.mx

**Key words** — Just in time production, Maintenance strategies, Simulation, Optimization

This paper proposes a simulation-optimization approach that optimally determines the control parameters of a just-in-time production policy and the parameters of the perfect maintenance strategy considering a progressive deterioration of the standard of quality of the produced parts. The model employs an Ornstein-Uhlenbeck stochastic process with white noise, which defines a stochastic differential equation to model random demand. Additionally, the system is subject to a service level constraint. The central conjecture of the proposed model is to devise a zero inventory policy for a certain period of time. Furthermore, it is found that the impact of such degradation process is so significant that the necessity of a major repair is considerable. Also, statistical analyses comprising experimental design and response surface techniques are used to optimize the control parameters of the proposed joint control policy. An extensive sensitivity analysis is conducted which assess the effects of the variation of several cost parameters, also the impact of the variation of the diffusion process is evaluated, the analysis is complemented with the assessment of the variation of the service level constraint. A comparative analysis is conducted to highlight the economic cost savings that can be achieved with the proposed control model. The obtained results indicate that the developed simulation model can be implemented in complex manufacturing systems subject to uncertainties, increasing defectives, and uncertain demand. Also, repair policies are triggered considering product quality data, exploiting the relationship between the amount of degradation of the system and the rate of non-conforming units

## References

H. Rivera-Gómez, J.P. Gharbi, J.P. Kenné, O. Montaña-Arango et al., Joint optimization of production and maintenance strategies considering a dynamic sampling strategy for a deteriorating system, *Computers & Industrial Engineering*, 140, 10273, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106273>

H. Rivera-Gómez, A. Gharbi, J.P. Kenné, R. Ortiz-Zarco, J.R. Corona-Armenta, Joint production, inspection and maintenance control policies for deteriorating system under quality constraint, *Journal of Manufacturing Systems*, 60, 585-607, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.07.018>

S. Ouaret, J.P. Kenné, A. Gharbi, Stochastic optimal control of random quality deteriorating hybrid manufacturing/remanufacturing systems, *Journal of Manufacturing Systems*, 49, 172-185, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.10.002>

Ait-El-Cadi, A. Gharbi, K. Dhoubi, A. Artiba, Joint production and preventive maintenance controls for unreliable and imperfect manufacturing systems, *J. Manuf. Syst.* 58, 263-279, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.12.003>

Z. Hajej, N. Rezg, A. Gharbi, Quality issue in forecasting problem of production and maintenance policy for production unit, *Int. J. Prod. Res.*, 56, 6147-6163, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1478150>



# Generación automática de horarios universitarios mediante programación entera. Un caso de estudio

Luis Eduardo Urbán Rivero,<sup>1\*</sup> Myrna H. Lezama León<sup>2</sup>, Eduardo Cruz Aldana<sup>2</sup> Noé D. Mares Ortega<sup>3</sup>, Luisa F. Loera Díaz<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Sistemas, Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, Ciudad de México, México.

<sup>2</sup>Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo, Tolcayuca, Hidalgo.

<sup>3</sup> Centro de Investigación en Matemáticas, Unidad Aguascalientes.

\* Correo electrónico: leur@azc.uam.mx

**Palabras claves**— Timetabling, Investigación de Operaciones, Programación lineal entera mixta

La administración de recursos físicos y de personal en una institución educativa suele ser una actividad que implica un reto en las instituciones. Adicionalmente puede que se requiera que los encargados de administrar dichos recursos cometan errores debido a la gran cantidad de opciones que se deben tener en cuenta y a la gran cantidad de información que tienen que procesar. Uno de los problemas que se suelen resolver con frecuencia, cada periodo lectivo, es determinar los horarios en que se imparten los cursos. En una universidad esto es especialmente complejo debido a la heterogeneidad en la operación de las instituciones. Debido a esto es difícil encontrar software que cumpla con todos los requerimientos de un caso específico por lo que es necesario desarrollar soluciones a la medida. En Chen et al. (2021) se puede ver una revisión del estado del arte en metodologías y casos de estudio. Por otro lado en concreto en Arratia-Martinez et al. (2010) se muestra un modelo con condiciones de operación similares a las de esta propuesta pero con un planteamiento diferente. En este trabajo se presentara un caso particular relacionado a una universidad pública en México. El problema se resolvió mediante un modelo de dos etapas de programación lineal entera mixta (MILP por sus siglas en inglés) y su posterior resolución con un solver comercial. No fue necesario otro tipo de técnicas ya que se puede alcanzar la optimalidad del problema en un tiempo razonable.

## Referencias

Chen, M. C., Goh, S. L., Sabar, N. R., and Kendall, G. A survey of university course timetabling problem: perspectives, trends and opportunities IEEE Access, 2021, 9(1), 106515-106529.

Arratia-Martinez, N. M., Maya-Padron, C., and Avila-Torres, P. A. University course timetabling problem with professor assignment. Mathematical Problems in Engineering, 2021, 1–9



# Modelación y optimización de rutas para la recolección de residuos sólidos usando optimización binivel y programación dinámica.

Judith Agueda Rolán Ahumada,<sup>1</sup> \* Martha Lorena Avendaño Garrido,<sup>2</sup> y Víctor Pérez García<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Facultad de Matemáticas, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.

\* Correo electrónico: zS21000331@estudiantes.uv.mx

**Palabras claves**— Ruteo, Programación binivel, Programación dinámica, Recolección de residuos sólidos

En este trabajo se busca modelar y optimizar la recolección de residuos orgánicos en la ciudad de Xalapa, Veracruz. Para llegar a esto, como primer paso se plantea un problema semejante, con condiciones ideales para tener una versión más sencilla y proponer un algoritmo de solución.

Suponga que en una ciudad se quieren recolectar desechos sólidos orgánicos, los cuales se procesan en un único centro de compostaje. Se cuenta con un listado de los lugares donde se recogen los desechos, los cuales están agrupados en  $m$  sectores fijos, tal que cada sitio pertenece a un sólo sector. Para atender los  $m$  sectores se cuenta con  $m$  camiones de capacidad  $T_i$ , con  $i = 1, \dots, m$ , a cada sector se le asigna un camión. Además, la cantidad promedio de residuos  $q_{ij}$  que genera cada sitio es menor que la capacidad  $T_i$  del camión.

La recolección genera un costo por transferencia que depende de la distancia que recorre y del peso que transporta. Se tienen dos objetivos, para cada sector, encontrar una ruta por día que genere menor costo, considerando cada  $q_{ij}$ , y que se recolecte la mayor cantidad de residuos sin exceder  $T_i$ .

En esta plática se mostrará el modelo del problema usando programación binivel y un algoritmo de programación dinámica para solucionarlo, además, se mostrarán los resultados de los experimentos numéricos que se realizaron con la implementación del algoritmo



# Improving user retention in K-6 edutainment through collaborative filtering and clustering

Antonio Purón Mier y Terán, 1,2\* Hugo A Pérez-Vicente<sup>1</sup>, Isidro Soria Arguello<sup>1</sup> and Sebastián Maldonado<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Química, Industrial y de Alimentos, Universidad Iberoamericana, México.

<sup>2</sup>Inoma A. C., México.

<sup>3</sup>Department of Management Control and Information Systems, School of Economics and Business, University of Chile, Chile.

<sup>4</sup>Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería (ISCI), University of Chile, Chile.

\* Correo electrónico: antonio.puron@inoma.mx

**Key words** — Recommendation algorithms, Collaborative filtering, Clustering techniques, Serious games

Edutainment is increasingly used as an educational tool, facilitated by global internet access and advances in computational power. This has led to a proliferation of digital educational tools, such as serious games, many of which are edutainment-based and aim to personalize the learning paths users follow thus increasing user retention and effective usage rates, resulting in effective learning (Mustac̆ et al., 2022). However, there is poor retention rates and high churn, especially when users (mostly K-6 children between 4 and 14 years of age) drop out after a few sessions.

Recommendation algorithms that guide users according to their specific needs, learning status, and preferences are essential for K-6 edutainment systems to achieve high retention and usage rates. These algorithms offer psychological rewards while promoting the exploration of unseen games to encourage learning. Individual preferences in-game mechanics play a vital role in attracting and retaining users (Drachen et al., 2016).

TakTakTak is an edutainment offering aimed at K-6 children since 2010 that has attracted over 800,000 users over 12 years, and that allows precise measurement of retention and learning rates. This paper presents three algorithms designed to address clusters of educational game users as they progress through TakTakTak. The paper segments players into clusters and uses collaborative filtering as a recommendation algorithm. It compares several clustering algorithms and evaluates their effectiveness using silhouette tests and concentration of clusters through Lorentz curve analyses.

The paper analyzes a representative sample of TakTakTak's game behavior, consisting of 42,569 sessions performed by 1,000 agents between 2013 and 2020. It evaluates each clustering method's predictive power using Silhouette values with three, four, six, and eight clusters. The paper reports the first algorithm's effectiveness in improving the retention rate of users initially signing into TakTakTak once an implementation AB test was run over several months starting August 2023 and outlines the conceptual solutions for the next two stages of interaction: increased usage and learning path progression, highlighting additional actions relevant to recommendation systems.

In summary, this paper illustrates the importance of recommendation algorithms for edutainment systems and presents three algorithms designed to address clusters of educational game users in TakTakTak. It compares several clustering algorithms and evaluates their effectiveness, providing insights relevant to recommendation systems.

## References

- A. Drachen, E Lundquist, et al. Rapid Prediction of Player Retention in Free-to-Play Mobile Games. Proceedings, The Twelfth AAAI Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment (AIIDE-16). 4:23-29, 2016.
- K Mustac̆, K Bac̆ić, L Skorin-Kapov and M Sužnjević. Predicting Player Churn of a Free-to-Play Mobile Video Game Using Supervised Machine Learning. Appl. Sci., 12(6):2795, 2022



# Una formulación exacta y heurística para el problema de zonificación agrícola

Salvador J. Vicencio-Medina<sup>1</sup>, Yasmín A. Ríos-Solís<sup>1</sup>, Néstor M. Cid-García<sup>2</sup>, Omar J. Ibarra-Rojas<sup>3</sup> y Franco Quezada<sup>4</sup>

<sup>1</sup>School of Engineering and Sciences, Tecnológico de Monterrey, Monterrey, N.L.

<sup>2</sup>CONACYT-CentroGeo, Aguascalientes, C.P. 20313, México

<sup>3</sup>Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Monterrey, N.L.

<sup>4</sup>University of Santiago of Chile (USACH), Faculty of Engineering, Industrial Engineering Department, Chile

Correo electrónico: A00832500@tec.mx, yasmin.riosolis@tec.mx, nxtr.cd@gmail.com, omar.ibarrarj@uanl.edu.mx, franco.quezada@usach.cl

**Palabras claves**— Métodos Exactos, Desigualdades Válidas, Agricultura de Precisión.

El problema de zonificación agrícola consiste en dividir una parcela agrícola en zonas de acuerdo con una propiedad física o química del suelo y de esta manera garantizar un nivel de homogeneidad proporcionado por el agricultor. El término zonificación agrícola corresponde a la aplicación variable de insumos tales como fertilizantes, semillas, plaguicidas, agua, etc., de acuerdo con el potencial productivo de los diferentes sectores dentro de una parcela o campo agrícola. Una de las principales ventajas de usar la zonificación agrícola es el mayor rendimiento de la parcela con el uso de insumos con respecto a la dosis fija, o de un menor uso de insumos sin disminución del rendimiento tal de la parcela.

Existen diversos trabajos en la literatura que abordan este problema haciendo uso de técnicas de clúster ([1], [2], [3]). Sin embargo, la desventaja principal de este tipo de técnicas es que las zonas resultantes son difíciles de delinear por parte del agricultor ya que dichas zonas son generadas con formas irregulares o disconexas que difícilmente pueden ser delineadas usando tractores ordinarios. Posteriormente, los autores [4] y [5] presentan los primeros trabajos en donde hacen uso de técnicas de investigación de operaciones para dar solución al problema de zonificación agrícola tomando en cuenta los tractores, por ende, las soluciones proporcionadas tienen formas cuadradas y/o rectangulares. Recientemente, los autores [6] proponen un método de aproximación basado en un EDA (por sus siglas en inglés, Estimation of Distribution Algorithm) que se diferencia de los enfoques previos en que de este se puede obtener soluciones con formas ortogonales (una forma ortogonal, es aquella en la que todas sus esquinas forman 90 grados), mejorando así a los trabajos previos, en términos de calidad de soluciones.

En este trabajo se presenta un nuevo método de aproximación basado en la combinación de los denominados conjuntos-disjuntos (en inglés, Disjoint-Sets) y un EDA. Dicha combinación mejora drásticamente el trabajo [6] en términos de tiempo y calidad de soluciones. Nuestro nuevo enfoque llamado EDA-OSSMZ (por sus siglas en inglés, Estimation of Distribution Algorithm for the Orthogonal Site-Specific Management Zone problem) fue probado con el benchmark que se encuentra en la literatura obteniendo muy buenos resultados. Debido a la mejora obtenida se propuso un nuevo conjunto de instancias más grande que el existente para probar la robustez de nuestro método.

Al no existir un método exacto capaz de resolver instancias de tamaño real, los métodos de aproximación que se han propuesto solo nos pueden proporcionar cotas superiores del problema de zonificación agrícola. Por tal motivo, se presenta la primera formulación matemática que resuelve el problema de zonificación agrícola con formas ortogonales. Los resultados preliminares muestran que la formulación propuesta puede resolver instancias pequeñas del problema en tiempos computacionales relativamente bajos. No obstante, se sigue trabajando en dicha formulación, haciendo uso de desigualdades válidas para resolver instancias de mayor tamaño en tiempos de computo bajos.







## Referencias

- [1] Perron, I., Cambouris, A. N., Chokmani, K., Vargas Gutierrez, M. F., Zebarth, B. J., Moreau, G., ... & Adamchuk, V. (2018). Delineating soil management zones using a proximal soil sensing system in two commercial potato fields in New Brunswick Canada. *Canadian Journal of Soil Science*, 98(4), 724-737.
- [2] Behera, S. K., Mathur, R. K., Shukla, A. K., Suresh, K., & Prakash, C. (2018). Spatial variability of soil properties and delineation of soil management zones of oil palm plantations grown in a hot and humid tropical region of southern India. *Catena*, 165, 251-259.
- [3] Ohana-Levi, N., Bahat, I., Peeters, A., Shtein, A., Netzer, Y., Cohen, Y., & Ben-Gal, A. (2019). A weighted multivariate spatial clustering model to determine irrigation management zones. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 719-731.
- [4] Cid-Garcia, N. M., Albornoz, V., Rios-Solis, Y. A., & Ortega, R. (2013). Rectangular shape management zone delineation using integer linear programming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 93, 1-9.
- [5] Albornoz, V. M., Cid-Garcia, N. M., Ortega, R., & Ríos-Solís, Y. A. (2015). A hierarchical planning scheme based on precision agriculture. *Handbook of operations research in agriculture and the agri-food industry*, 129-162.
- [6] Velasco, J., Vicencio, S., Lozano, J. A., & Cid-Garcia, N. M. (2023). Delineation of site-specific management zones using estimation of distribution algorithms. *International Transactions in Operational Research*, 30(4), 1703-1729.



# Métodos de solución para el problema del agente viajero familiar capacitado

Saúl Domínguez Casasola<sup>1</sup> \*, José Luis González Velarde<sup>1</sup> y Yasmín A. Ríos Solís<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería y Ciencias, Tecnológico de Monterrey, Monterrey, Nuevo León. E. Garza Sada 2501 Sur, C.P. 64849, Monterrey, Nuevo León, México

\* Correo electrónico: A00988197@tec.mx

**Palabras claves**— GRASP, Optimización Combinatoria, TSP, Logística.

El problema del agente viajero familiar capacitado (CFTSP por sus siglas en inglés Capacitated Family Traveling Salesperson Problem) es una variante del problema del agente viajero familiar (FTSP) introducido por Morán-Mirabal et al. (2014). Ambos problemas tienen como motivación práctica las actividades de surtido dentro de los almacenes, especialmente en aquellos donde la tecnología permite colocar un mismo tipo de producto en varias ubicaciones, así como ubicaciones conteniendo diferentes tipos de producto. Por ejemplo, de acuerdo con Banks et al. (2007) la identificación por radiofrecuencia (RFID, Radio Frequency Identification) es una herramienta que posibilita la situación descrita, pues facilita la asignación individual de cada objeto a una posición para su almacenamiento o resguardo. El proceso de surtido es una actividad crítica, en particular para las empresas con ventas en línea, pues alrededor del 50 % de los usuarios cancelan sus pedidos (en tienda virtual) cuando no se cumplen las fechas de entrega, por esta razón es importante satisfacer la demanda de los clientes rápidamente (Jalili Marand et al, 2020). De esta manera, mejorar los procesos de surtido puede constituir una ventaja competitiva por su efecto logístico positivo (Reefke y Sundaram, 2018).

El CFTSP puede modelarse utilizando una gráfica completa: el conjunto de nodos representa a los productos del almacén y las distancias entre cada uno de éstos están indexadas en las aristas. Los productos almacenados son clasificados en familias disjuntas caracterizadas por la cantidad de unidades disponibles, su peso, y su demanda. Del total de los nodos presentes en la gráfica, por cada familia se deben seleccionar tantos nodos como lo indique su demanda. Por otro lado, también deben elegirse las aristas que conecten a los nodos seleccionados y minimicen la distancia total recorrida. Los nodos seleccionados son visitados y recolectados por un conjunto de agentes con capacidad dada, por lo que la asignación de nodos no debe exceder la capacidad de carga de los agentes. Adicionalmente, se debe cumplir que cada nodo puede visitarse a lo más una vez en total, y el recorrido de los agentes debe comenzar y terminar en un depósito, y ninguno puede contener subtours.

El FTSP ha sido abordado tanto por métodos exactos basados en modelos de programación lineal entera mixta (MILP por sus siglas Mixed Integer Linear Programming), como por metaheurísticas que permiten hallar buenas soluciones en tiempos de cómputo razonables (Bernardino y Paías, 2018) y (Bernardino y Paías, 2021). Para resolver el CFTSP proponemos un modelo de MILP en el que utilizamos diferentes alternativas para evitar subtours. El modelo es capaz de resolver instancias de hasta 279 productos, y construye simultáneamente las rutas para un conjunto de agentes tanto con capacidades homogéneas, como capacidades heterogéneas. Por otro lado, para instancias de mayor dimensión, proponemos un procedimiento de búsqueda voraz adaptativo probabilista (GRASP por sus siglas en inglés Greedy Randomized Adaptive Search Procedure) con distintos métodos constructivos y de mejora. El GRASP es capaz de encontrar soluciones factibles para instancias de hasta más de mil productos. Finalmente, se realiza un análisis sobre los resultados obtenidos por los métodos mencionados, y se aportan conclusiones al respecto.





## Referencias

Hendrik Reefke y David Sundaram. Sustainable supply chain management: Decision models for transformation and maturity. *Decision Support Systems*, 113(4):56–72, 2018.

Jalili Marand, Ata and Li, Hongyan y Thorstenson, Anders Competing on price, speed, and reliability: How does bounded rationality matter. *Journal of the Operational Research Society*, 72(9): 2059–2072, 2020.

Jerry Banks, Manuel A Pachano, Les G Thompson, y David Hanny. *RFID applied*, 267 John Wiley & Sons. (3):2017.

Luis Fernando Morán Mirabal, José Luis González Velarde y Mauricio G.C. Resende. Randomized heuristics for the family traveling salesperson problem. *International Transactions in Operational Research*, 21(1):41–57, 2014.

Raquel Bernardino y Ana Paias. Heuristic approaches for the family traveling salesman problem. *International Transactions in Operational Research*, 28(1)(2):262–295, 2021.

Raquel Bernardino y Ana Paias. Solving the family traveling salesman problem. *European Journal of Operational Research*, 267(2): 453–466, 2018.



# Location and dispatching of two types of ambulances considering partial coverage

Beatriz A. García Ramos<sup>1\*</sup>, Roger Z. Ríos Mercado<sup>2</sup> y Yasmín A. Ríos Solís<sup>3</sup>.

<sup>1,2</sup>Programa de Posgrado en Ingeniería de Sistemas, Universidad Autónoma de Nuevo León. San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

<sup>3</sup>Escuela de Ingeniería y Ciencias, Tecnológico de Monterrey. Monterrey, Nuevo León.

Correo electrónico: 1 beatriz.garciarms@uan.edu.mx, 2 roger@yalma.fime.uanl.mx 3 yasmin.riossolis@tec.mx

**Abstract** Emergency Medical Service (EMS) Systems take care of medical emergencies. When a patient needs first aid, an emergency call enters the EMS system, an operator responds to it, identifies the patient's condition, and decides if an ambulance has to be dispatched. Taking care of patients efficiently and effectively improves their survival rate. Ambulances should be located in the best potential site for travel time reduction to improve this survival condition. Moreover, ambulance dispatch decision is vital according to the accident's severity. Thus, emergency accidents are the primary source of uncertainty in the system.

We consider two types of ambulances in the EMS system: advanced life support (ALS) and basic life support (BLS) ambulances. One of the critical issues is that BLS ambulances cannot serve all types of accidents, and there is fewer ALS than BLS ambulances available in the system. Another issue is the relatively small number of available ambulances for emergency service in Latinoamerican cities.

We propose a two-stage stochastic programming model with recourse for an ambulance location and dispatching problem considering partial accident coverage. The first stage locates ambulances at potential sites in the system, while the second stage dispatch ambulances considering accident scenarios. The objective is to maximize the number of accidents covered, total or partially, considering a penalty for not covered accidents. Moreover, partial coverage depends on how many ambulances are dispatched and their traveling response time, which is not always ideal.

This problem is NP-hard; therefore, medium-size to large-size instances cannot be efficiently solved by exact methods. Therefore, in this talk, we present a greedy randomized adaptive search procedure for efficiently finding feasible solutions to large-scale instances of this problem. The solution procedure includes a local search phase to improve the solution. The proposed metaheuristic is assessed on a database of instances based on data from Monterrey.

XI Congreso de la Sociedad Mexicana de Investigación de Operaciones  
18 al 20 de octubre de 2023 - San Andrés Cholula, Puebla.



# Utilización de árboles de búsqueda para la minimización de patrones de corte de utilización máxima.

Marta Cabo Nodar,<sup>1\*</sup> y Claudia O. López Soto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Matemáticas. ITAM- México.

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias, UNAM - México.

\* Correo electrónico: marta.cabo@itam.mx

**Palabras claves**— Problemas. de corte, Beam-Search, Problemas Bi-Objetivo.

Uno de los problemas clásico de corte y empaquetamiento consiste en encontrar la forma óptima de empaquetar objetos dentro de contenedores, de modo que se maximice la utilización de los contenedores. En la industria textil, en la fabricación de muebles, o el corte de vidrio, los objetos son piezas bidimensionales que deben ser extraídas de un contenedor, normalmente una placa rectangular, por medio de operaciones de corte. Cuando uno se centra en optimizar la utilización de la materia prima, es muy probable que para cada placa rectangular tengamos que introducir unas coordenadas de corte diferentes. En operaciones que conllevan volúmenes muy grandes de piezas, se requieren gran cantidad de placas, por lo que el proceso de corte se puede ver altamente afectado por este cambio de parámetros al cambiar de placa.

En este trabajo introducimos un nuevo objetivo en el problema clásico de corte: tratar de minimizar el número de patrones diferentes que se necesitan para completar la demanda. De esta forma, tratamos de agilizar el proceso de corte, minimizando los cambios en los parámetros de las máquinas entre placa y placa. Esta variante del problema ha sido poco estudiada en la literatura, y hasta la fecha sólo hemos encontrado el trabajo de Song & Bennell (2014) el cual presenta un modelo de generación de columnas para resolver este problema.

Para comenzar a trabajar con este problema, nos fijamos en el proceso de corte de vidrio, el cual tiene la particularidad de que las piezas pueden ser reflejadas y rotadas libremente, lo cual aumenta las posibilidades de colocación dentro de la placa, pero además deben ser separadas de las placas mediante cortes guillotina, esto es, mediante cortes que vayan de un lado al otro de la placa. Esta restricción facilita, en cierto modo el proceso de colocación de piezas, ya que restringe las posibles posiciones.

Basándonos en la heurística constructiva presentada en Bennell et al. (2019) hemos desarrollado un árbol de búsqueda tipo Beam Search el cual trabaja con dos tipos de nodos: por un lado, nodos donde el objetivo es maximizar la utilización del bin, sin importar la tipología de las piezas, y otros nodos donde el objetivo es que el bin creado se pueda replicar el mayor número de veces posible. El árbol de búsqueda de Beam Search realiza podas drásticas en sus ramas basadas en dos funciones de evaluación: una local donde cada nodo compite con sus nodos hermanos de una forma bastante ciega, y una global, en la que se evalúan nodos dentro del mismo nivel y se seleccionan las ramas que eventualmente llevarán a una mejor solución.

Aunque el trabajo está en fase de desarrollo, la idea de generar un árbol con dos vertientes es que la solución final sea capaz de elegir una mezcla óptima entre las ramas que maximicen la utilización y aquellas enfocadas a minimizar los cambios de parámetros en las máquinas de corte, maximizando el número de veces que ese contenedor aparece en la solución.





## Referencias

J.A. Bennell, M. Cabo, A. Mart´inez-Sykora A beam search approach to solve the convex irregular bin packing problem with guillotine cuts IEuropean Journal of Operational Research., 270(1):89–102, 2018.

X. Song and J. A. Bennell. Column generation and sequential heuristic procedure for solving an irregular shape cutting stock problem. EJournal of the Operational Research Society, 65(7):1037–1052, 2014.



# Propuesta de un modelo de distribución de recursos de la Secretaría de Salud en las entidades federativas, basado en tres componentes: necesidad, uso y calidad de los servicios de salud a la persona

**Karen Lanzguerrero Obeid, 1\***

1Actuaría de la Facultad de Ciencias de la UNAM, Maestra en Ingeniería con enfoque en Investigación de Operaciones del Posgrado de Ingeniería de la UNAM y candidata a Maestra en Alta Dirección del Posgrado de Contaduría y Administración de la UNAM. \* Correo electrónico: karenlobeid@ciencias.unam.mx

**Palabras claves**— Sistemas de salud, financiamiento, simulación, dinámica de sistemas, medición del desempeño.

Una de las reformas en salud más importantes que se han implementado en México en los últimos quince años es la creación del Sistema de Protección Social en Salud (SPSS), mejor conocido como Seguro Popular (SP), a través del cual se amplió la cobertura de servicios de salud, brindando atención médico-quirúrgica, farmacéutica y hospitalaria a la población no derechohabiente. No obstante, a pesar de que se han reducido las inequidades en la atención sanitaria, hoy más que nunca México se encuentra ante la necesidad de garantizar el acceso universal y efectivo a los servicios de salud y apearse más a estándares internacionales que establezcan las condiciones estructurales para reducir las desigualdades que todavía persisten.

Aun cuando en un principio se haya previsto su alcance y viabilidad, muy probablemente no se pensó en su funcionamiento a largo plazo, ni a qué problemas se enfrentaría. Por lo que de aquí se desprenden varios cuestionamientos: ¿los servicios que ofrece han contribuido a mejorar la calidad de vida de la población?, ¿es un programa exitoso?, ¿se han logrado los objetivos iniciales?, ¿qué modificaciones convendría realizar?

Derivado de lo anterior, este proyecto profundiza en el entendimiento de la raíz de la problemática financiera que ha enfrentado el SP, de la cual se desprenden tres aspectos fundamentales:

1. El modelo de asignación de recursos federales (transferibles) es ineficiente.
2. El esquema de financiamiento no considera las necesidades de salud ni el uso de los servicios.
3. No se evalúa adecuadamente el desempeño de las entidades federativas.

Con la finalidad de poder dar una respuesta a las preguntas planteadas y resolver estos tres paradigmas de torno al funcionamiento del SPSS, la metodología implementada consiste en lo siguiente:

- Analizar la forma en la que se asignan los recursos a las entidades federativas mediante dinámica de sistemas, plantear su diagrama causal y generar diversos escenarios de porcentajes de distribución a través de la técnica de simulación estocástica para encontrar alternativas óptimas.
- Proponer una alternativa integral de modelo de financiamiento, ajustado por necesidades de salud y uso de los servicios, a través del cálculo de indicadores en salud por entidad federativa y de estándares establecidos por la OMS, que busque nivelar a las entidades al promedio nacional, en un principio, y que, posteriormente, las incentive para elevar sus indicadores continuamente y, con ello, la calidad de sus servicios.
- Medir el desempeño de las entidades en distintos ámbitos de salud y, a partir del uso de la técnica heurística PROMETHEE, evaluar los resultados por región socioeconómica para otorgar grados de preferencia en distintos años, que puedan servir como referencia respecto a si las medidas en salud implementadas han dado resultados favorables o no y tomar como ejemplo esquemas adoptados por las entidades que sean mejor evaluadas para apoyar a las que presenten deficiencias. Esto ayudaría, en consecuencia, a que el país en su conjunto eleve sus indicadores en salud y que, con el tiempo, se acerque a los estándares establecidos por la OMS.





A partir de los resultados obtenidos, la dinámica de sistemas y la simulación permitieron encontrar porcentajes de asignación de los recursos federales transferibles a las entidades federativas más adecuados. Por otra parte, el modelo alternativo de financiamiento propuesto arrojó resultados óptimos para redistribuir los recursos totales con base en las necesidades en salud, el uso y la calidad de los servicios, aunque bajo ciertas condiciones. Finalmente, a través de la técnica heurística utilizada, se logró evaluar el desempeño de las entidades federativas, en distintos aspectos esenciales de salud, y se detectaron las regiones socioeconómicas con un mejor desempeño durante los últimos años.

Independientemente de los cambios que enfrente el SPSS (o el nombre que adquiera, ahora IMSS Bienestar) a través de los años, para que el nuevo modelo funcione adecuadamente es primordial que el Sistema de Salud mexicano transite hacia uno basado en las necesidades de su población y no en presupuestos históricos; que se constituyan fondos mancomunados, de los cuales se pueda medir su efectividad y que estén sujetos a evaluaciones periódicas; y que se busque nivelar el desempeño de las entidades, como acciones prioritarias.





# Conjunto Dominante Total Global y sus Algoritmos

Ernesto Parra Inza1\*, José María Sigarreta Almira2\* y Nodari Vakhania1\*

1Centro de Investigación en Ciencias, UAEMor, Cuernavaca, Morelos, México.

2Facultad de Matemáticas, UAGro, Acapulco de Juárez, Guerrero, México.

\* Correo electrónico: eparrainza@gmail.com

**Palabras claves**— Grafo, Conjunto dominante total global, Número de dominación total global, Heurísticas, Complejidad computacional

Uno de los problemas más estudiados en la optimización combinatoria y la teoría de grafos son los problemas de cobertura y partición en grafos. Entre ellos están los problemas del conjunto dominante total global. Un subconjunto de vértices de un grafo es un conjunto dominante total si cada vértice del grafo tiene al menos un vecino en el subconjunto. Este subconjunto es un conjunto dominante total global del grafo  $G$  si es un conjunto dominante total tanto de  $G$  como de su grafo complemento. Se desea encontrar un conjunto dominante total global óptimo, que contenga el mínimo número posible de vértices, cuya cardinalidad es el número de dominación total global ( $\gamma_{gt}(G)$ ). De manera formal, dado un grafo no dirigido simple  $G = (V, E)$  con  $|V| = n$  vértices y  $|E| = m$  aristas, un conjunto  $S \subseteq V$  se llama conjunto dominante total de ese grafo si para todo  $v \in V$  existe un vértice  $u \in S$  tal que la arista  $(v, u) \in E$ . Se dice que  $S$  es un conjunto dominante total global (CDTG) si es un conjunto dominante total de  $G$  y  $\bar{G}$ . Encontrar un conjunto dominante total de cardinalidad mínima en un grafo  $G = (V, E)$  está entre los problemas de clase NP-hard.

En este trabajo se proponen dos heurísticas para este problema, que constan de dos etapas. En la primera etapa se genera un CDTG mediante un algoritmo greedy, y en la segunda etapa este CDTG es purificado (reducido). En ambas heurísticas, la primera etapa posee un orden igual a  $O(n^3)$ ; la segunda etapa se ejecuta en tiempo  $O(pn^2)$ , donde  $p = |\text{CDT } G|$ . La segunda etapa de depuración da lugar a una mejora esencial de la calidad del CDTG creado en la primera etapa y por ende una mejor aproximación a  $\gamma_{gt}(G)$ . Se crean nuevas cotas superiores e inferiores para  $\gamma_{gt}(G)$  y se demostró la complejidad computacional para algunas familias de grafos

Se analizó el comportamiento práctico de las heurísticas en ambas etapas con 1000 instancias generadas aleatoriamente. Se obtuvieron resultados experimentales que permiten verificar la eficiencia de las heurísticas propuestas mediante su comparación con las cotas inferiores y superiores para  $\gamma_{gt}(G)$  propuestas en este trabajo y existentes en la literatura. Al analizar los CDTG arrojados por la etapa 1 de ambas heurísticas, en el 76.14 % de las instancias, la Heurística 1 arrojó CDTG de menor cardinalidad. Luego de aplicar la etapa 2 (purificación), en el 43.59 % de las instancias la Heurística 2 retornó mejores o iguales resultados. La etapa 1 de la Heurística 1, arrojó un mayor número de CDTG minimales (37.64 %), por lo que no se requería la etapa de purificación. La cardinalidad de los CDTG arrojados por ambas heurísticas representan en promedio, un 7.63 % del valor de la mínima de las cotas superiores analizadas

## Referencias

Bermudo, S., Martínez, A. C., Mira, F. A. H., and Sigarreta, J. M. On the global total  $k$ -domination number of graphs *Discrete Applied Mathematics* 263 (2019), 42–50.

Garey, M. R., and Johnson, D. S. *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-completeness* (Vol. 174). W.

H. Freeman & Co., New York, 1979. H. Fernau, J. A. Rodríguez-Velázquez and J. M. Sigarreta, Global powerful  $r$ -alliances and total  $k$ -domination in graphs. *Utilitas Mathematica* 98 (2015), 127–147.





M. H. Akhbari, C. Eslahchiz, N. Jafari Rad and R. Hasni Some Remarks on Global Total Domination in Graphs Applied Mathematics E-Notes 15 (2015), 22–28.

V. R. Kulli On  $n$ -total domination number in graphs Graph Theory, Combinatorics, Algorithms and Applications, SIAM, Philadelphia (1991), 319–324

V. R. Kulli and B. Janakiram The total global domination number of a graph Indian J. Pure and Applied Mathematics 27 (1996), 537–542.



# Impact of the demand pattern for an aggregate production planning with uncertainty in human resources production capacity and flexibility in working hours.

José Emmanuel Gómez-Rocha<sup>1\*</sup>, Eva Selene Hernández-Gress<sup>1</sup> and Cipriano Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Engineering and Sciences, Tecnológico de Monterrey, Pachuca, Hidalgo  
<sup>2</sup> School of Engineering and Sciences, Tecnológico de Monterrey, Guadalajara, Jalisco

\* email: a01662477tec.mx

**Key words** — Aggregate production planning, stochastic programming, Management science.

This research addresses a multi-product, multi-period aggregate production planning problem with uncertainties in human resources capacities and flexibility in working hours, other studies consider flexibility as Francas et al. (2011), due to different factors the human resources production capacity is different in each period of the production plan horizon and furlough is considered instead of a firing policy. In order to have an optimal resource planning process that determines how many workers of each type of job and when they are needed, a two-stage mixed integer quadratic constrained stochastic programming model is developed and the sample average approximation is used (Shapiro et al., 2021) as a solution strategy using the commercial solver Gurobi to solve the deterministic equivalent problem, different scenarios in demand pattern are compared that provide useful information to decision makers in cases where demand decreases significantly.

## References

- Francas, D., Löhndorf, N., & Minner, S. (2011). Machine and labor flexibility in manufacturing networks. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 165-174.
- Shapiro, A., Dentcheva, D., & Ruszczyński, A. (2021). *Lectures on stochastic programming: modeling and theory*. Society for Industrial and Applied Mathematics



# Medición del desempeño organizacional de la Manufactura Esbelta usando HFLTS

William Alexander Chitiva-Enciso, 1\* Luis Pérez-Domínguez, 1 Roberto Romero-López, 1 y Juan Luis Hernández-Arellano<sup>1</sup>

1Dpto. de Ingeniería Industrial y Manufactura, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua.

\* Correo electrónico: al228149@alumnos.uacj.mx

**Palabras claves** — MCDM, Manufactura Esbelta, AHP, HFLTS.

Los métodos de toma de decisión multicriterio son un tópico de actual relevancia para la ingeniería. La literatura muestra que es posible utilizar estos métodos de manera híbrida para la medición de indicadores en los sistemas de Manufactura Esbelta. Se aborda un problema al que se enfrentan los líderes de los mencionados sistemas en las organizaciones como es lograr una medición que satisfaga las necesidades de las organizaciones, así como establecer prioridades para estructurar planes de acción.

La contribución de esta investigación es un modelo híbrido para la evaluación del desempeño de Manufactura Esbelta usando Conjuntos de Términos Lingüísticos Difusos Vacilantes (HFLTS) (Rodríguez et al., 2012). La metodología HFLTS constituye una alternativa que provee flexibilidad a los tomadores de decisión al permitirles expresar sus evaluaciones a través de variables lingüísticas. Este concepto incluye un método matricial para el manejo de indicadores medidos a partir de la preferencia subjetiva de los evaluadores, así como la ponderación de los criterios o indicadores usando la metodología AHP y la valoración final de dichos indicadores con respecto a una solución ideal.

Los resultados preliminares obtenidos muestran que el uso de estas técnicas es factible para medir el desempeño de los sistemas esbeltos al brindar una clasificación del desempeño de los criterios que facilite la toma de decisiones en un marco de mejora continua, además de servir como referencia para la discusión en futuras investigaciones.

## Referencias

Rodríguez, R. M., Martínez, L., & Herrera, F. (2012). Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets for Decision Making. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 20(1), 109–119. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2011.2170076>



# Assessing Constructive Heuristics for the Prize-Collecting Traveling Salesman Problem

Jose Pablo González Flores,<sup>1</sup> \*, Roger Z. Ríos Mercado<sup>1</sup> and Diana L. Huerta <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical and Electrical Engineering, Universidad Autónoma de Nuevo León

\* E-mail address: pablo.gonzalezflr@uanl.edu.mx

**Key words** — Prize-Collecting Traveling Salesman Problem, heuristics, routing problems.

The prize-collecting traveling salesman problem is described as a generalization of the TSP (Bienstock et al., 1993) which is a salesman that must travel through  $n$  cities only once. The traveler receives a reward from each city visited. Given a price goal, the aim is to visit enough cities to collect a total reward, minimizing the total travel costs (Balas, 1982). In the talk, we present a couple of heuristics for finding feasible solutions to this problem. These two heuristics are based on the nearest neighbor and the cheapest insertion heuristics proposed by (Laporte, G. & Martello, S., 1990) for the TSP, both adapted to solve this particular problem. The first heuristic uses, as a greedy function (inspired by the work of (Dell'Amico, M. et al., 1998)), the recollected prize-total travel cost ratio on the selected nodes to be inserted in the tour, selecting the one with the maximum ratio. The second heuristic uses a recollected prize-total distance costs ratio of the whole tour divided by the prize of each city individually, for which the maximum ratio decides the city to be inserted; it also applies a second greedy function that minimizes the distance cost of the position of the selected city in the tour. To assess the effectiveness and quality of the heuristics, we carry out a set of numerical experiments.

## References

- Balas, E. The prize collecting traveling salesman problem. *Networks*, (19):621–636, 1982.
- Bienstock, D., Goemans, M. X., Simchi-Levi, D. & Williamson, D. A note on the prize collecting traveling salesman problem. *Mathematical Programming*, 59(1-3):413–420, 1993.
- Dell'Amico, M., Maffioli, F. & Sciomachen, A. A Lagrangian heuristic for the Prize Collecting Travelling Salesman Problem. *Annals of Operations Research*, 81:289–306, 1998.
- Laporte, G. & Martello, S. The selective travelling salesman problem. *Discrete Applied Mathematicsh*, 26(2-3):193–207, 1990.



# Estrategias de control para optimizar el transporte público

Citlali M. Olvera Toscano<sup>1</sup> \*, Yasmín A. Ríos Solís<sup>2</sup> y Roger Z. Ríos Mercado<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Posgrado en Ingeniería de Sistemas, UANL, San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

<sup>2</sup>Escuela de Ingeniería y Ciencias, Tecnológico de Monterrey, México.

\* Correo electrónico: citlali.maryuri@gmail.com

**Palabras claves** — Algoritmos genéticos, BRKGA, control en tiempo real.

El término amontonamiento de autobuses se utiliza para describir la situación en la cual un autobús llega a una parada con una diferencia de tiempo muy reducida respecto al autobús anterior. Este problema habitual genera un servicio deficiente con tiempos de espera y de viaje prolongados para los pasajeros (Nesheli et al., 2016).

Para abordar esta problemática, es crucial implementar estrategias de control en tiempo real. Una de las más utilizadas es la retención de vehículos, la cual implica prolongar la estadía de un autobús en la estación (Ibarra-Rojas et al., 2015). El propósito de esta estrategia es regularizar la frecuencia de llegada de los autobuses, reduciendo así el amontonamiento y mejorando la eficiencia global del sistema de transporte.

Sin embargo, resolver este problema de manera exacta y rápida solo es viable en casos con un número limitado de estaciones, generalmente hasta 60 (Olvera-Toscano et al., 2023). En situaciones más complejas con un mayor número de estaciones y autobuses, el tiempo requerido para resolverlo se vuelve considerable, dificultando su aplicación en tiempo real. Por consiguiente, es crucial presentar alternativas eficientes y prácticas, que proporcionen soluciones de alta calidad en un tiempo razonable.

En este trabajo, se presentan algunos resultados preliminares obtenidos mediante la implementación del algoritmo heurístico BRKGA (Biased Random Key Genetic Algorithm). Nuestro enfoque tiene como objetivo principal mejorar tanto la eficiencia como la calidad de las soluciones en el contexto del amontonamiento de autobuses. La necesidad de abordar este problema de manera rápida y efectiva es fundamental para garantizar un servicio de transporte competente y satisfactorio para los pasajeros.

## Referencias

O. J. Ibarra-Rojas, F. Delgado, R. Giesen y J. C. Muñoz. Planning, operation, and control of bus transport systems: A literature review. *Transportation Research Part B: Methodological*, pages 38–75, 2015.

M. M. Nesheli, A. Ceder y V. A. Gonzalez. Real-time public-transport operational tactics using synchronized transfers to eliminate vehicle bunching. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, pages 3220–3229, 2016.

C. M. Olvera-Toscano, Y. A. Ríos-Solís, R. Z. Ríos-Mercado y R. Sánchez Nigenda. Holding times to maintain quasi-regular headways and reduce real-time bus bunching. *Public Transport*, pages 1–34, 2023.



# A capacitated facility location problem considering a disruption due external factors.

Eva Selene Hernández-Gress<sup>1\*</sup>, José Emmanuel Gómez-Rocha<sup>1</sup> and Cipriano Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Engineering and Sciences, Tecnológico de Monterrey, Pachuca, Hidalgo

<sup>2</sup> School of Engineering and Sciences, Tecnológico de Monterrey, Guadalajara, Jalisco

\* email: a01662477tec.mx

**Key words** — Facility location science, Stochastic programming, Supply chain disruption

In disruptive events such as a pandemic or natural disaster, the configuration of the supply chain can be affected as Rawls and Turnquist (2010) mentioned. These external risk factors can be modeled using Bayes' theorem or probability distributions. In such cases, the production capacity of plants or warehouses may decrease or become completely disabled, emphasizing the importance of fast reconfigurations to fulfill the maximum possible customer demand.

This research addresses the capacitated facility location problem (CFLP) with uncertainty in demands and disruptions due to external factors. A two-stage stochastic mixed-integer programming model is developed, and the sample average approximation (Shapiro et al., 2021) is employed as a solution strategy. Considering the need for speed in solving the problem, this research proposes a Benders decomposition approach and the development of a first-stage variable fix heuristic as Kim and Dandurand (2022) proposed based in a pricing strategy. Instances of various sizes are solved to test the effectiveness of the proposed solution strategies, utilizing state-of-the-art solvers such as Gurobi and CPLEX.

## References

- Rawls, C. G., & Turnquist, M. A. (2010). Pre-positioning of emergency supplies for disaster response. *Transportation research part B: Methodological*, 44(4), 521-534.
- Shapiro, A., Dentcheva, D., & Ruszczyński, A. (2021). *Lectures on stochastic programming: modeling and theory*. Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Kim, K., & Dandurand, B. (2022). Scalable branching on dual decomposition of stochastic mixed-integer programming problems. *Mathematical Programming Computation*, 14(1), 1-41



# Un algoritmo voraz iterado aplicado al problema de regionalización de centros de salud

Rodolfo Mendoza-Gómez (a), \* y Roger Z. Ríos-Mercado (b)

(a) Escuela de Ingeniería y Ciencias, Tecnológico de Monterrey, Campus León, León, Guanajuato

(b) Posgrados en Ingeniería en Sistemas, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolas de los Garza Nuevo León

\* Correo electrónico: rodolfomendoza@tec.mx

**Palabras clave** — Planeación de servicios de salud, metaheurística, algoritmo voraz iterado, Búsqueda por entornos

En este trabajo se propone un método heurístico para resolver el problema de regionalización de centros de salud para múltiples instituciones. El método de ramificación y acotamiento es capaz de resolver instancias de tamaño pequeño y mediano, pero ha demostrado un mal desempeño en resolver instancias de gran tamaño. Por lo tanto, se propone un algoritmo voraz iterado con una búsqueda por entornos descendiente para resolver el problema. Se propone un método constructivo combinado con dos estrategias deconstructivas. Como proceso final de mejora se propone la optimización del problema de asignación de la demanda. El problema se evaluó en un caso de estudio basado en el Sistema de Salud Público del Estado de México. Los resultados comparados con el método exacto muestran la eficiencia de la metaheurística en términos de calidad de las soluciones para instancias de gran tamaño en un tiempo restringido de cómputo





# Mejoramiento de la atención al cliente mediante la aplicación de Teoría de Colas en una PYME de sector comercial

Angélica Salas Montenegro<sup>1</sup>, Blanca G. Pérez Valenzuela<sup>2</sup> y Ángel A. Vargas Reyes<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Maestría en Administración de Negocios, Universidad Juárez del Estado de Durango

<sup>2</sup> Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico Superior de Santiago Papasquiaro

Correo electrónico: angelica.sm@spapasquiaro.tecnm.mx, bp4118866@gmail.com, angel200avr@gmail.com

**Palabras claves**— Teoría de colas, costo de servicio, PYME, tiempo de espera.

La investigación de operaciones, conocida como la teoría de la toma de decisiones, se aplica a las problemáticas relacionadas con la coordinación de actividades en una organización, también, la IO utiliza teorías que estudian el fenómeno de líneas de espera o teoría de colas, mismas que en la actualidad representa una problemática en las organizaciones por la falta de equilibrio entre tiempos de espera y el costo del servicio principalmente (Taha, 2012). La teoría de colas utiliza modelos para representar los tipos de sistemas de líneas de espera que surgen en la práctica. Estos modelos determinan cómo operar un sistema de colas de manera eficaz, es decir, permiten encontrar un balance entre costo de servicio y cantidad de espera (Lieberman 2010). En este contexto, tanto Lieberman como Taha plantean una estructura básica para el modelo de colas que se basa en medidas de desempeño representativas, como longitud de la cola, tiempo de espera promedio en la cola, y el uso promedio de la instalación.

En el presente trabajo, se aplica la estructura de la Teoría de Colas con el objetivo de identificar el nivel óptimo de la capacidad del sistema que minimice el costo de espera del cliente, así mismo evalúa el impacto de las posibles modificaciones obteniendo un balance entre tiempo de espera y de servicio de los clientes, esto, abordará la problemática existente del desequilibrio de tiempos en una PYME de sector comercial dedicada a la venta de bienes de consumo o productos para consumidores y clientes potenciales existentes.

Es así, que, para el desarrollo de esta aplicación, se consideraron varios factores, (1) Muestreo del comportamiento y los tiempos de espera y de servicio de los clientes en las cajas de la PYME, (2) la capacidad de los cajeros, (3) análisis de situación encontrada mediante Pom Qm for Windows, (4) Simulación en Arena para posibles alternativas de solución. En la fase uno se muestreó mediante la observación y la obtención de datos: el tiempo de llegada, el tiempo que espera en la cola y el tiempo de servicio en que atienden al cliente. En la fase dos se identifica la capacidad de los dos cajeros. La fase tres muestra el análisis completo de la teoría de colas utilizando Pom Qm for Windows, la eficiencia de los cajeros, los tiempos promedios de llegada y de servicio, el número de clientes en la PYME y en la fila, entre otros. En la cuarta fase y última, se muestra una simulación en Arena, misma que ilustra la situación real y la situación que se propone como solución para cumplir con el objetivo de esta aplicación.

Los resultados obtenidos, fueron determinados mediante el análisis de tres factores de impacto i) la logística de la PYME no es la adecuada, ii) los cajeros existentes no son suficientes para los clientes, y iii) la espera del cliente que lleva pocos productos, es la misma espera que hace un cliente que lleva más de diez productos. En este sentido, se propone un layout con una logística mejorada, se plantea también abrir un cajero más que sea específicamente para clientes que lleven diez o menos productos, estos clientes estarían optimizando su tiempo de espera en fila de 0.63 minutos a 0.09 minutos aproximadamente, en esta opción se considera el costo que genera implementar un nuevo cajero, mismo que equilibra la capacidad de atención al cliente, puesto que la capacidad aumenta en un 20% en su atención. Como resultado de la interrelación de los tres factores de impacto se obtuvo un balance entre los tiempos de espera y de servicio de los clientes, así mismo se obtiene una mayor capacidad de atención en la PYME y una mejora en la distribución de la organización, esta propuesta puede ser implementada en corto plazo teniendo a bien obtener una maximización de beneficios económico en un mediano o largo plazo.





## Referencias

Hamdy A. Taha (2012). Investigación de Operaciones, pp. 593-597. México: Pearson/ 9na edición.

Hillier, S, y Lieberman, G. (2010). Introducción a la Investigación de Operaciones. pp. 708-713. México: McGraw-Hill/Inter Americana Editores.



# A bi-level optimization framework for Micro and Small Enterprises (MSEs) in Hidalgo, Mexico

Simgé Deniz, Eva Selene Hernández Gress y José Fernando Camacho Vallejo

**Keywords** — MSEs, SCN, bi-level programming, multiple level decision making, mom-and-pop store

## **Abstract:**

Micro and Small Enterprises (MSEs) are crucial for the growth of developing economies, yet they often lack the resources and capabilities necessary for survival. In this paper, we focus on the supply chain networks (SCNs) of MSEs in the grocery store sector, which dominate the marketplace in many Latin American countries, including Mexico. Our objective is to design a SCN that enables the diagnosis of the virtual value chain of MSEs in order to optimize value creation and to contribute to the survival rates of grocery stores in a specific region. To achieve this, we consider multiple-level decision makers involved in the physical flow of resources and minimize total transportation cost generated in the upstream and midstream supply chain of micro retailers. To obtain good quality solutions for this problem, we propose a novel approach that combines network design and optimization techniques for MSE cases where micro retailer is the leader decision maker while community stores and suppliers in which the micro retailer purchases are the followers of micro store's decisions. The proposed approach is tested on a set of benchmark instances and a real case-study of the city of Pachuca, Hidalgo in Mexico is considered to validate the applicability of our approach. Our approach is expected to have significant practical implications for the grocery store sector in Latin America and other developing economies, by providing a better understanding of the virtual value chain of MSEs and enabling more efficient and effective decision-making in the physical flow of resources. Overall, our research contributes to the growing body of literature on the role of supply chain networks in the success and survival of micro and small enterprises



# Integrity of growing items purchased for a livestock business in compliance with the carbon tax regulation

Md. Al-Amin Khan<sup>1,2</sup>, Leopoldo Eduardo Cárdenas-Barrón<sup>1\*</sup>, Gerardo Treviño-Garza<sup>3</sup>, Armando Céspedes-Mota<sup>1</sup>, Imelda de Jesús Loera-Hernández<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico de Monterrey, School of Engineering and Sciences, Ave. Eugenio Garza Sada 2501, Monterrey, N. L., 64849, México  
<sup>2</sup> Ingram School of Engineering, Texas State University, 601 University Drive San Marcos, TX 78666, USA

\* Email: A00834679@tec.mx, and alaminkhan@juniv.edu lecarden@tec.mx, gtrevino@txstate.edu, acespede@tec.mx, iloera@tec.mx

**Key words** — Growing items, Discrete purchased quantity, Power demand pattern, Carbon tax.

The human food supply chain is significantly influenced by growing products like beef, sheep, hog, chicken, turkey, and other species as these provide major contributions to the world's food security and are vital sources of protein and other necessary nutrients. The Food and Agriculture Organization (FAO) reported that by 2030, worldwide meat output is expected to increase to 376 million tons from 220 million tons in 2000, indicating the increasing demand for animal protein in human diets (FAO, 2011). Industrial farming businesses carry out their operations by purchasing a certain species of baby-growing items from a supplier, feeding and caring for them until they reach an acceptable living weight, and then selling them after they have been processed and slaughtered. Due to the discrete character of the number of purchases, the optimization approach based on differentiation is not appropriate for determining the best procured baby-growing items for any industrial farm. In addition, the production of livestock worldwide accounts for 14.5% of all anthropogenic greenhouse gas (GHG) emissions, according to FAO, making it a substantial contributor to greenhouse gas emissions. Thereby, to regulate emissions, governments from a number of countries have imposed a tax scheme on the farm's emission volume. The primary goal of this study is to identify the optimal quantity of baby-growing items for a farm in order to save costs when the cost per weight unit of procurement depends on the volume of purchases and the consumption of processed commodities after the slaughter of the survived growing items follows a power demand pattern. A comparison tactic is employed only for the discrete decision variable, while the classical optimization tactic, based on differentiation, is adopted for the remaining continuous decision variable of the derived problem. Our method, which is quite straightforward in its operation, enables the creation of a rule that can distinguish between instances in which there is only one optimum solution and those in which there are two. The research comes to the conclusion that the farm reduces the overall cost of the order while keeping the integrity of the purchased growing items by taking into account the regulation for the carbon tax, discount on each weight unit of procurement cost, and power demand pattern.

## References

Food and Agriculture Organization (FAO). (2011). World Livestock 2011 - Livestock in Food Security. Rome, Italy: FAO



# An economic lot scheduling problem with the effects of the carbon tax

Amir Hossein Nobil<sup>1\*</sup>, Erfan Nobil<sup>1</sup>, Leopoldo Eduardo Cárdenas-Barrón<sup>1</sup>, Gerardo Treviño-Garza<sup>2</sup>, Armando Céspedes-Mota<sup>1</sup>, Imelda de Jesús Loera-Hernández<sup>1</sup>

1Tecnológico de Monterrey, Escuela de Ingeniería y Ciencias, E. Garza Sada 2501 Sur, C.P. 64849, Monterrey, Nuevo León, México

2Department of Mathematics, Jahangirnagar University, Savar, Dhaka-1342, Bangladesh

3 Ingram School of Engineering, Texas State University, 601 University Drive San Marcos, TX 78666, USA

\* Correo electrónico: ahnobil@tec.mx A00835658@tec.mx, lecarden@tec.mx, gtrevino@txstate.edu, acespede@tec.mx, iloera@tec.mx

**Key words** — Economic lot scheduling problem, Economic production quantity, Carbon tax, Sustainable

According to the work of Nobil et al. (2022), inventory management, due to its considerable role in balancing costs and incomes, is an important component of enterprise management. In the early twentieth century, investigating inventory problems by scientific method began, and its importance increased gradually by the growing rivalry in business up to now. Additionally, Olatunji et al. (2019) mentioned that the processes performed in production companies have a vital role to decrease the amount of carbon emissions emitted into the atmosphere. Storage and production processes are major factors in emitting carbon into the atmosphere and since the amount of carbon emissions continues to grow, the manager of companies should notice them a lot.

This study investigates the influence of carbon-constrained on a production system in that all products are made on a single machine and proposes a new economic lot scheduling problem (ELSP). The influence of carbon emission affects the total cost of the proposed model. Therefore, the main goal of this research is to determine the optimal cycle length such as the total cost (including the setup cost, the production cost, the holding cost, and the carbon emissions cost) is minimized. The carbon emissions cost is assumed as the carbon tax that is considered for carbon emitted from the setup, production, and holding processes.

Finally, it is suggested a closed-form method to obtain the optimal point of the objective function, and subsequently, it is compared this point with the feasibility of the production capacity, and hence, the optimal cycle length is calculated. The solution procedure of the model is evaluated using a numerical example.

## References

A. H. Nobil, S. T. A. Niaki, S. A. A. Niaki, y L. E. Cárdenas-Barrón. An economic production quantity inventory model for multi-product imperfect production system with setup time/cost function. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Serie A. Matemáticas*, 116:1-23, 2022.

O. O. Olatunji, S. A. Akinlabi, O. O. Ayo, N. Madushele, P. A. Adedeji, y S. O. Fatoba. Drivers and barriers to competitive carbon footprint reduction in manufacturing supply chain: A brief review. *Procedia Manufacturing*, 35:992-1000, 2019.



# La simulación en ambiente de la industria 5.0

Javier Eduardo Medina Gaytán, Luis Asunción Pérez-Domínguez, David Luviano-Cruz, Mayra Verónica Linares Gil

Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez:

Al180419@alumnos.uacj.mx, Luis.Dominguez@uacj.mx

**Palabras clave** — Optimizar, simulación, Industria 5.0

## Resumen

La industria 5.0 es la quinta revolución industrial, donde tiene mucho que ver la tecnología avanzada. De este modo la simulación tiene el potencial para modelar y optimizar un proceso de manufactura. Dado que puede predecir el comportamiento de dicho sistema. En este sentido esto permite mejorar la eficiencia y la productividad y para ello se debe de tener a un equipo que este familiarizado con el tema de simulación. Por lo que el presente trabajo plantea resolver un caso usando simulación para predecir un sistema de manufactura en ambiente 5.0. Los resultados indican que si es factible utilizar la simulación para modelar un sistema en el de industria 5.0.



# Un modelo de inventario para productos que crecen con calidad imperfecta, errores de inspección, emisiones de carbono y faltantes con pedidos atrasados completos

Cynthia Griselle De-la-Cruz-Márquez<sup>1\*</sup>, Leopoldo Eduardo Cárdenas-Barrón<sup>1</sup>, J. David Porter<sup>2</sup>, Gerardo Treviño-Garza<sup>3</sup>, Armando Céspedes-Mota<sup>1</sup>, Imelda de Jesús Loera-Hernández<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Escuela de Ingeniería y Ciencias, Tecnológico de Monterrey, Monterrey, Nuevo León. E. Garza Sada 2501 Sur, C.P. 64849, Monterrey, Nuevo León, México

<sup>2</sup> Escuela de Ingeniería Mecánica, Industrial y de Manufactura 204 Rogers Hall 2000 SW Monroe Avenue Oregon State University Corvallis, OR 97331-6001

<sup>3</sup> Ingram School of Engineering, Texas State University, 601 University Drive San Marcos, TX 78666, USA

\* Correo electrónico: cynthia.delacruz@tec.mx lecarden@tec.mx, David.Porter@oregonstate.edu, gtrevino@txstate.edu, acespede@tec.mx, iloera@tec.mx

**Palabras claves**— – Productos que crecen, Calidad imperfecta, Errores de inspección, Emisiones de carbono, Faltantes

El impacto ambiental y la calidad han recibido una atención considerable en los modelos de inventarios; sin embargo, la mayoría de los investigadores han desarrollado modelos con estas características de forma independiente. Por lo tanto, es valioso incorporar estos dos aspectos en una sola investigación para obtener nuevos conocimientos ante las complejidades del mundo real. Por otra parte en la práctica, cuando se recibe un lote, es necesario un proceso de inspección para identificar los artículos defectuosos. Pero el proceso de inspección también se considera imperfecto e implica errores de clasificación que son el error Tipo-I y Tipo-II (Khan et al., 2011). En este sentido en este trabajo, se estudia un modelo de cantidad económica de pedido desde un punto de vista sostenible, para artículos con calidad imperfecta bajo errores de inspección, que permite faltantes con pedidos atrasados completos, con una demanda dependiente del precio de venta para un tipo particular de productos, llamados productos que crecen. En el sistema de inventario en estudio, se considera una situación en la que se ordena una cierta cantidad de productos neonatos que son capaces de crecer con el tiempo mientras están en el inventario, por ejemplo: bovinos, ovinos, entre otros. El proceso de crecimiento es facilitado por la empresa a través de la alimentación de los productos (Sebatjane and Adetunji, 2019). Se obtiene una solución óptima para el modelo propuesto al maximizar la función de utilidad esperada por unidad de tiempo mediante la optimización conjunta de tres variables de decisión: la cantidad de pedido, cantidad de faltantes y el precio de venta de productos perfectos. Para validar los resultados teóricos se prueba que la función objetivo del modelo propuesto es cóncava y se ilustra un ejemplo numérico junto con un análisis de sensibilidad de los parámetros. El modelo encuentra una amplia aplicabilidad en empresas que se dedican a la crianza de cualquier tipo de animal de granja y donde los gerentes están tratando de lograr altos estándares de calidad por lo que no pueden darse el lujo de pasar por alto los problemas de control de calidad si desean tener la satisfacción del cliente, teniendo así gradualmente una mejor reputación y por lo tanto aumento en sus ingresos. En situaciones prácticas, no es confiable asumir que el 100% de los artículos empacados son perfectos y que los inspectores no tienen errores. Por lo que los resultados muestran que es esencial que se integre un riguroso proceso de inspección para clasificar los productos; o bien, identificar las causas de los errores para eliminarlos o reducirlos. El modelo asume faltantes con pedidos atrasados completos, que tienden a reducir los costos de inventario. También se puede observar que al considerar una política de emisiones de carbono como en el trabajo propuesto por Zhang et al. (2016) se obtiene una mayor utilidad total y el número total de emisiones generadas es menor en comparación a un modelo que no considera una política de impuesto al carbono en sus diversas actividades. Por lo tanto, el modelo propuesto contribuye positivamente al medio ambiente y aumenta las ganancias.





## Referencias

Khan, M., Jaber, M. Y., & Bonney, M. "An economic order quantity (EOQ) for items with imperfect quality and inspection errors," *International Journal of Production Economics*, 133(1), 113-118, 2011.

M. Sebatjane, and O. Adetunji, "Economic order quantity model for growing items with imperfect quality," *Operations Research Perspectives*, vol. 6, 100088, 2019.

Zhang, Y., Li, L. Y., Tian, X. Q., & Feng, C., "Inventory management research for growing items with carbon constrained," In 2016 35th Chinese Control Conference (CCC) (pp. 9588-9593). IEEE., 2016





# Una metaheurística GRASP para un problema de diseño territorial en instituciones financieras

Eduardo Salazar Treviño<sup>1</sup> \* , Roger Z. Ríos Mercado<sup>2</sup>†

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME), UANL, San Nicolás de los Garza, NL.

<sup>2</sup>Programa de Posgrado en Ingeniería en Sistemas, FIME, UANL, San Nicolás de los Garza, NL.

\* E-mail: eduardosalaz@outlook.com, † E-mail: roger@yalma.fime.uanl.mx

**Palabras claves**— Diseño territorial, Metaheurísticas, Optimización Combinatoria, GRASP, Heurísticas.

Las instituciones microfinancieras son importantes en economías emergentes como parte de los programas que intentan reducir la desigualdad de ingresos y la pobreza. Ofrecen crédito y otros productos financieros a mercados desfavorecidos que normalmente son rechazados por bancos comerciales ya que representan un riesgo alto con poca ganancia. Sin embargo, debido a su naturaleza frágil, el riesgo asociado a los préstamos otorgados debe de balancearse a través de las distintas sucursales. Dichas sucursales se ubicarán en establecimientos de otros negocios existentes, por lo que también se debe de balancear el número de sucursales por el giro del establecimiento anfitrión (López Pérez et al., 2020). La decisión principal a tomar es cuáles sucursales abrir de todos los sitios posibles y a qué sucursales se asignan las unidades básicas de atención.

Se plantea un problema de optimización combinatoria con el objetivo de minimizar la suma de las distancias de las unidades básicas que son atendidas por las sucursales de la institución. Se toman en cuenta las restricciones únicas a las que se somete este problema: balanceando el riesgo de las unidades básicas así como el tipo asociado a cada posible sucursal a emplear. Otros requerimientos presentes son: el balanceo de actividades y sus medidas dentro de un rango de tolerancia (Ríos-Mercado y López Pérez, 2013).

Para la resolución del problema, se presentan dos herramientas principales. La primera de ellas es el modelo de programación entera para la resolución de este problema, junto con un diseño preliminar del procedimiento metaheurístico GRASP.

Tomando como parámetros del problema la matriz de distancias de las unidades básicas a los sitios de sucursales potenciales, los objetivos para las métricas de las actividades desarrolladas por cada sucursal y su rango de tolerancia, la medida del riesgo asociada a las unidades básicas así como un límite superior de la medida por parte de las sucursales, y el tipo de cada establecimiento donde se puede construir una sucursal, se realiza la programación entera de dicho problema. Como el problema pertenece a la clase NP-duro de complejidad computacional, el programa no escala adecuadamente en cuanto a tiempo de ejecución se refiere para instancias del problema de tamaño superior, lo que justifica el uso de la metaheurística (Ríos-Mercado y Escalante, 2016). GRASP es un proceso multiarranque iterativo donde cada iteración se compone de dos fases, un procedimiento constructivo aleatorio y un procedimiento de búsqueda para la mejora de la solución construida previamente, iterando y guardando la mejor solución encontrada (Feo y Resende, 1989).

A través del procedimiento constructivo, iteración por iteración se construye la solución al problema. La primera fase de construcción se encarga de realizar las asignaciones de los centros a construir, mismas asignaciones se escogen usando distintos procedimientos para la experimentación de la calidad de la solución, introduciendo un grado de aleatoriedad que también debe de calibrarse de acuerdo a los experimentos. Una vez que los centros han sido escogidos, la segunda fase se encarga de asignar las unidades básicas a los centros que las deben de atender, de nuevo a través de distintos procedimientos pero con la misma meta para diversificar las soluciones creadas.





Como en la fase constructiva no se garantiza del todo factibilidad de todas las restricciones, la fase de búsqueda local se encarga de recuperar la factibilidad y de mejorar la función objetivo.

Se presentan experimentos computacionales que incluyen la evaluación de cada uno de los componentes de la metaheurística propuesta en cuanto a calidad de solución y tiempo de cómputo empleado así como su desempeño con y contra métodos exactos.

## Referencias

Ríos-Mercado, R. Z., López-Pérez, J. F. Commercial territory design planning with realignment and disjoint assignment requirements. *Omega*, 41(3):525-535, 2013.

Ríos-Mercado, R. Z., Escalante, H. J. GRASP with path relinking for commercial districting Expert Systems with Applications, 44 102-113, 2016.

López Pérez, J. F., Ekin, T., Jimenez, J. A., Méndez Mediavilla, F. A. Risk balanced territory design optimization for a micro finance institution *Journal of Industrial and Management Optimization*, 16(2):741-758, 2020.

Feo, T. A., Resende, M. G. C. A probabilistic heuristic for a computationally difficult set covering problem. *Operations Research Letters*, 8(2): 67-71, 1989.



# Algoritmo PSO con extensión de TOPSIS para la valoración de aceites esenciales

Dynhora-Danheyda Ramírez-Ochoa1\*, Luis Pérez-Domínguez1\*, Linda-Lucila Landeros-Martínez2, Erwin-Adán Martínez-Gómez1 y David Luviano-Cruz1

1Dpto. de Ingeniería y Manufactura Industrial, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua.

2 Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua.

\* Correo electrónico: al206592@alumnos.uacj.mx, luis.dominguez@uacj.mx

**Palabras claves**— Algoritmo de enjambre de partículas (PSO), TOPSIS, Aceites esenciales, Diabetes.

La diabetes mellitus tipo 2 es una enfermedad crónica degenerativa que se caracteriza por presentar niveles elevados de glucosa en sangre. Una alternativa natural para controlar o disminuir los niveles de glucosa es el uso de aceites esenciales (AE). El objetivo de este trabajo fue realizar el análisis de una diversidad de AE que tienen aplicación en el tratamiento de esta enfermedad. Mediante bases de datos, se identificaron en la literatura 15 AE que han demostrado ser efectivos en el tratamiento de la diabetes. En dicha investigación se observa una tendencia creciente, pero en los últimos 12 años las publicaciones sobre el empleo de los AE reflejan un mayor interés del tema por la comunidad científica. En este sentido, para el experimento se empleó el algoritmo TOPSIS-PSO. Donde, originalmente se identificaron 549 compuestos bioactivos (CB), pero de acuerdo con la experiencia de los expertos disminuyeron a 158. La forma de descartar los componentes es de acuerdo con dos factores importantes: la traza empleada en el experimento y la frecuencia de uso en los AE encontrados. Primeramente, se trabajó con homogeneizar la traza, es decir, descartando las cantidades que el experto no considera significativas para el experimento, la traza empleada es menor al 2%. Además, se disminuyó la dimensionalidad de la matriz de decisiones original usando un análisis de correlación y el Alpha de Cronbach. Los resultados preliminares indican que fue posible identificar los aceites esenciales más utilizados para el tratamiento de diabetes como posibles complementos terapéuticos para esta enfermedad.

## Referencias

Emily L. Chávez-Delgado, Daniel A. Jacobo-Velázquez, Essential Oils: Recent Advances on Their Dual Role as Food Preservatives and Nutraceuticals against the Metabolic Syndrome. *Foods*, 2023, vol. 12, no 5, p. 1079. <https://doi.org/10.3390/FOODS12051079>

Delia Michiu, et al. Implementation of an analytical method for spectrophotometric evaluation of total phenolic content in essential oils. *Molecules*, 27(4):1345,2022. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES27041345>

Tareq M. Osaili, et al. A Status Review on Health-Promoting Properties and Global Regulation of Essential Oils. *Molecules*, 28(4):1809, 2023. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES28041809>

Valeria Schiavone, et al. Essential Oils from Mediterranean Plants Inhibit In Vitro Monocyte Adhesion to Endothelial Cells from Umbilical Cords of Females with Gestational Diabetes Mellitus. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(8):7225, 2023. <https://doi.org/10.3390/IJMS24087225>



# Modelo de optimización de la asignación de productos en un almacén para reducir la distancia recorrida en el proceso de preparación de pedidos

Luis Enrique Rivera Mireles<sup>1\*</sup> y Lourdes Loza-Hernandez<sup>2</sup>

1 Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México, UAEMEX, Toluca, México.

2 Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México, UAEMEX, Toluca, México.

\* Correo electrónico: 1 Luis.riveramireles@gmail.com, 2 llozahe@gmail.com

**Palabras claves**— Asignación de productos, preparación de pedidos, Programación lineal entera

El proceso de preparación de pedidos dentro de un almacén se ha estudiado de diversas maneras, siempre con el objetivo de mejorar el tiempo de despacho y reducir las distancias recorridas en el almacén, lo anterior a través de la aplicación de diferentes herramientas cuantitativas. La empresa caso de estudio de este trabajo es una empresa del sector automotriz, específicamente del sector de venta de autopartes, la cual no cuenta con una política de asignación de productos que ayude a minimizar la distancia recorrida en el proceso de preparación de pedidos, lo que impacta directamente en el tiempo de surtido de las ordenes de pedido, el servicio al cliente y la competitividad de la empresa en el mercado.

Actualmente el almacén tiene asignación de productos fija con base en una clasificación ABC desarrollada una década anterior, lo cual hace inoperable el manejo del almacén a la fecha debido a que los productos que se demandan son diferentes, además de que no se considera el volumen (en cantidad y en tamaño) de cada uno de ellos. Para el almacenamiento de los productos que no alcanzan espacio en los estantes asignados, éstos se ubican en el espacio vacío más cercano a la entrada del almacén causando problemas de espacio para otros productos y fácil desplazamiento del personal en el área.

Para resolver esta problemática, este artículo presenta un modelo de programación entera (MILP por sus siglas en inglés Mixed Integer Lineal Programming), el cual tiene como objetivo asignar un espacio de almacenamiento dedicado basado en clases de productos, de acuerdo con la clasificación ABC, está definida en orden de la mayor participación que tiene cada uno de los productos sobre las ventas anuales de la empresa. Los productos con mayor importancia sobre las ventas de la empresa (tipo A) son asignados a un espacio más cercano al punto de partida y final del proceso de preparación de pedidos.

El modelo de programación lineal entera considera los siguientes factores: (1) características dimensionales de cada producto, (2) tiempo de reaprovisionamiento de cada producto, (3) inventario de seguridad de cada producto, (4) distancias recorridas a cada uno de los lugares de almacenamiento, (5) frecuencia de acceso a cada producto y (6) costo esperado de viaje. Los resultados del modelo ayudan a determinar el espacio necesario para almacenar el inventario de cada producto para cubrir un horizonte de planeación, considerando el tiempo de reabastecimiento que tiene cada producto, además se cuenta con la restricción de no sobrepasar las dimensiones de los frentes de los espacios de almacenamiento determinados por el encargado del almacén, debido a las condiciones físicas del almacén. El objetivo es minimizar la distancia total de viaje que se realiza al desplazarse del punto de origen al lugar donde está almacenado el producto y regresar al punto de despacho del producto (el punto de origen y el punto de despacho para el caso de estudio son iguales).





El modelo de programación lineal entera diseñado para un total de 1319 números de parte, fue resuelto a través de GAMS (General Algebraic Modeling System) versión 23.5.1 con un procesador Intel Core i3-6006U con 8 GB de RAM, con CPLEX en 84.359 segundos; y validado a través de la asignación aleatoria de ordenes de pedido y posteriormente calculadas de forma manual. Los resultados obtenidos muestran un porcentaje de ahorro promedio de un 18 % de distancia recorrida en cada pedido, comparado con la situación actual.

La asignación de productos con un modelo de programación entera da como resultado la reducción de distancias recorridas en el almacén al tener los productos acomodados de mayor a menor importancia, además se logra reducir el tiempo en el proceso lo que representa la mejora en el nivel de servicio de la empresa.



# La cantidad económica a producir considerando procesos de calentamiento y enfriado

Erfan Nobil1, Leopoldo Eduardo Cárdenas-Barrón1, Amir Hossein Nobil1, Gerardo Treviño-Garza2, Armando Céspedes-Mota1, Imelda de Jesús Loera-Hernández1

1Tecnológico de Monterrey, Escuela de Ingeniería y Ciencias, E. Garza Sada 2501 Sur, C.P. 64849, Monterrey, Nuevo León, México

2 Ingram School of Engineering, Texas State University, 601 University Drive San Marcos, TX 78666, USA

Correo electrónico: A00835658@tec.mx lecarden@tec.mx, ahnobil@tec.mx, gtrevino@txstate.edu, acespede@tec.mx, iloera@tec.mx

**Palabras claves** — Cantidad de producción económica, modelo EPQ, Optimización

En la actualidad la demanda de productos está aumentando significativamente, y por lo tanto las empresas de manufactura necesitan implementar el modelo o proceso que sea capaz de satisfacer la demanda. Por esta razón, investigadores han desarrollado modelos que proveen los resultados que tienen los mejores beneficios. Sin embargo, en la industria existen algunos sistemas de producción en donde las máquinas para que funcionen correctamente necesitan trabajar un periodo corto de tiempo antes de iniciar la fabricación de un lote de producción. Este tiempo es conocido como proceso de calentamiento. Adicionalmente, al final de la fabricación del lote se requiere también de un proceso de enfriamiento.

Los efectos de implementar el proceso de calentamiento en la gestión de inventarios fueron investigados por Nobil et al. (2019) and Nobil et al. (2023).

Actualmente, los procesos de calentamiento y enfriamiento son bien conocidos por la mayoría de los trabajadores que laboran en las empresas de manufactura, pero aún no se han investigado y verificado sus beneficios al considerarlos simultáneamente en la gestión de la producción e inventarios. En esta dirección, esta investigación tiene como objetivo principal estudiar al mismo tiempo los efectos de los procesos de calentamiento y enfriamiento en un sistema de manufactura que determina el tamaño del lote de producción. El objetivo es determinar la mejor política de inventario que tiene los mejores beneficios por medio de la optimización de una función de costo del sistema inventario.

## Referencias

Nobil, A. H., Tiwari, S., & Tajik, F. (2019). Economic production quantity model considering warm-up period in a cleaner production environment. *International Journal of Production Research*, 57(14), 4547-4560.

Nobil, E., Cárdenas-Barrón, L. E., Loera-Hernández, I. D. J., Smith, N. R., Treviño-Garza, G., Céspedes-Mota, A., & Nobil, A. H. (2023). Sustainability Economic Production Quantity with Warm-Up Function for a Defective Production System. *Sustainability*, 15(2), 1397.



# Loading-Unloading Areas for Freight Vehicles in Emerging Markets: Field Experiments to Assess the Environmental, Social, and Economic Benefits

Camilo A. Mora-Quiñones<sup>1\*</sup>, Jan Fransoo<sup>2</sup>, Leopoldo Eduardo Cárdenas-Barrón<sup>1</sup>, Josué Velázquez-Martínez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Tecnológico de Monterrey, Monterrey, Mexico

<sup>2</sup> Tilburg University, Tilburg, Netherlands

<sup>3</sup> Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, United States

\* Correo electrónico: camilomora@tec.mx lecarden@tec.mx, Jan.Fransoo@tilburguniversity.edu, josuevm@mit.edu

**Palabras claves**— Cantidad de producción económica, modelo EPQ, Optimización

The limited availability of parking spaces for freight vehicles in developing cities has a significant impact on the effectiveness and efficiency of goods distribution. When drivers cannot find nearby parking spots near their destinations and do not want to miss their deliveries, they often circle around the block in search of a parking spot, resulting in increased distance traveled, additional fuel consumption, and time. This leads to higher costs, increased carbon emissions, and negative effects on the environment and society. Another observed practice to save time is double parking, which involves illegally parking next to properly parked vehicles, leading to blocked streets, traffic congestion, noise pollution, accidents, and fines. As a result, the absence of freight vehicle parking creates logistical inefficiencies and negative consequences for the environment and society.

According to the United Nations, approximately 4.4 billion people, accounting for 56% of the world's population, reside in cities. By 2050, nearly 7 out of 10 people are projected to live in urban areas, with the urban population expected to more than double from its current level. This will contribute to a continuous increase in urban freight transportation and further scarcity of parking spaces, which will worsen air quality and contribute to global warming. Since the freight sector heavily relies on fossil fuels, this trend will have adverse effects on both public health and the environment.

One potential solution to address the challenges associated with the lack of freight vehicle parking is the creation of dedicated loading and unloading zones. Existing literature offers various approaches for estimating the benefits of establishing these spaces. Some researchers have employed optimization techniques to determine the optimal number, location, and capacity of bays, aiming to minimize the distance between candidate bays and establishments (Lopez et al. 2021). Others have developed simulation models to study the impact of obstructions on traffic congestion and estimate reductions in air pollutants (Alho et al. 2022). Recent studies have combined these approaches using simulation-optimization, allowing them to create scenarios in controlled environments by varying conditions such as bay capacity, demand, and traffic parameters (Trott et al. 2021). This integrated approach provides insights into the creation of loading and unloading zones. Additionally, a few empirical studies have examined the benefits of creating bays under real conditions, demonstrating time savings (Fransoo et al. 2020). While these studies have contributed significantly to understanding the problem and potential solutions, further investigation is needed to determine the effects of loading and unloading zones on carbon emissions, noise pollution, and traffic congestion in urban settings, particularly in emerging markets.



.....  
.....

To address these gaps, this paper describes the procedure, results, and findings of two field experiments conducted in two large Mexican cities in 2021 and 2022, in collaboration with local authorities. The first study took place in Zapopan from August to September 2021, where 21 dedicated loading and unloading areas were established. Over 90 companies participated, and more than 100,000 data points were collected, including timestamps, geolocation, and speed, enabling an assessment of the impact of the bays on carbon emissions and noise pollution. The second study occurred in the downtown area of Guadalajara, the capital of Jalisco state, from November 2022 to February 2023. Similar to the first intervention, 20 loading and unloading bays were created in collaboration with municipal authorities. Over 3 million traffic data records from TomTom were analyzed to evaluate the effects of the unloading zones on traffic congestion.

The outcomes of these studies demonstrate positive results, including a 4% reduction in carbon intensity, over 10% savings in logistics costs, a decrease of 3.34% in CO2 levels in the air, a 44% reduction in noise pollution, and a 3.2% increase in the average speed of vehicles in the area of intervention.

## Referencias

Alho, A., Oh, S., Seshadri, R., Dalla Chiara, G., Chong, W. H., Sakai, T., ... & Ben-Akiva, M. (2022). An agent-based simulation assessment of freight parking demand management strategies for large urban freight generators. *Research in Transportation Business & Management*, 43, 100804.

Fransoo, J. C., Cedillo-Campos, M. G., & Gamez-Perez, K. M. (2020). Estimating the benefits of dedicated unloading bays by field experimentation. Available at SSRN 3768028.

Lopez, C., Rifki, O., & Chiabaut, N. (2021, February). Optimal freight loading zones: a graph-theoretic approach. In 9th Symposium of the European Association for Research in Transportation (hEART 2020).

Trott, M., Baur, N. F., der Landwehr, M. A., Rieck, J., & von Viebahn, C. (2021). Evaluating the role of commercial parking bays for urban stakeholders on last-mile deliveries—A consideration of various sustainability aspects. *Journal of Cleaner Production*, 312, 127462



# Algoritmo de Recocido Simulado Modificado para la solución de un problema de selección de proveedores y asignación de cantidades a ordenar.

Paulina Gonzalez-Ayala, 1\*, Avelina Alejo-Reyes<sup>1</sup>, Abraham Mendoza<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Panamericana, Álvaro del Portillo 49, 45010 Zapopan, México

\* Correo electrónico: pagonzalez@up.edu.mx

**Palabras claves**— Teoría de inventarios, Cadena de Suministro, Cantidad de pedidos, Recocido Simulado

Actualmente diversas industrias están enfocadas en la optimización de la administración de la cadena de suministro, debido al alto impacto que esto representa en la rentabilidad, competitividad e incluso, en la supervivencia de las empresas. Una de las actividades de mayor importancia, es el proceso de compras, debido a que los insumos pueden llegar a representar hasta un 65% del costo final de los productos. Dentro de las decisiones de compras, un problema de especial interés es la selección de proveedores, teniendo como principales objetivos el determinar la cantidad óptima a ordenar por proveedor, la cantidad de pedidos por asignar, los costos involucrados y, por último, la planeación de las compras. Al considerar las variables y costos involucrados en el proceso como son, costo de ordenar, de inventario, de compras, de transporte (considerando que pueden existir descuentos por cantidad), se tiene como resultado un modelo complejo y con infinitas soluciones, debido a que su función objetivo suele ser no convexa, no lineal y no diferenciable.

Recientemente han surgido algoritmos metaheurísticos que se han convertido en herramientas que nos permiten abordar de una manera efectiva los problemas de optimización complejos. Los algoritmos, son técnicas de búsqueda iterativa que exploran espacios de soluciones hasta encontrar soluciones cercanas a la óptima en períodos de tiempo cortos. El Algoritmo Recocido Simulado (en inglés, Simulated Annealing Algorithm) es ampliamente utilizado para evitar soluciones locales subóptimas, pues se utiliza para la optimización global de los modelos logrando encontrar soluciones aproximadas a la óptima. Su aplicación va desde la planificación de rutas, diseño de circuitos integrados, programación de horarios, optimización de redes, entre otros.

El algoritmo Recocido Simulado tradicional se basa en un único agente de búsqueda, lo cual puede llevar a una convergencia lenta y de resultados no óptimos en problemas complejos. En este trabajo se propone un Algoritmo de Recocido Simulado Modificado, basado en múltiples agentes con un proceso de exploración y explotación. Una contribución base en el desarrollo del algoritmo, es la atracción de todos los agentes de búsqueda hacia la mejor solución actual. Con estos mecanismos aplicados, el algoritmo permite explorar distintas regiones del espacio de soluciones y determinar el óptimo de forma más rápida, encontrando a su vez, mejores soluciones.

A modo de comprobación del funcionamiento del algoritmo, se aplicó en un problema de Cantidad Óptima de Pedido, cuyo objetivo es la minimización del costo total de la función objetivo (no lineal, no convexa y no diferenciable) (Alejo-Reyes et al., 2021). Bajo las mismas condiciones, tanto el algoritmo tradicional, así como el modificado fueron ejecutados 30 veces con el fin de ser comparados entre ellos. A través de estadísticos descriptivos, podemos observar que la mediana del algoritmo de Recocido Simulado Modificado obtuvo mejoras sobre el tradicional





**Tabla 1.** Estadísticas descriptivas para Recocido Simulado tradicional y modificado.

<i>Algoritmo</i>	<i>Mediana del Costo Total</i>	<i>IC para la mediana al 95%, Costo Total (USD/Mes)</i>
<i>Tradicional</i>	<i>USD 33,522.6</i>	<i>USD 33,066–USD 34,668</i>
<i>Modificado</i>	<i>USD 32,821.6</i>	<i>USD 32,794–USD 32,911</i>

Por otro lado, los resultados del algoritmo Recocido Simulado Modificado se compararon con los resultados obtenidos a partir del modelo de referencia, donde se realizó una prueba de Wilcoxon con el fin de determinar si existe diferencia significativa entre los resultados de ambas muestras en el Costo Total. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 2.** Estadísticas de la prueba de Wilcoxon.

<i>Método</i>	<i>Estadística de Wilcoxon</i>	<i>Valor p</i>
<i>Recocido Simulado Modificado</i>	<i>49</i>	<i>0.019</i>

A modo de conclusión, los resultados presentados con el algoritmo propuesto fueron mejores que los anteriores presentados en la literatura en dos sentidos; i) las soluciones se obtuvieron en un periodo de tiempo más corto y, ii) las soluciones obtuvieron un mejor costo (más bajo) que las previamente reportadas, llevándonos a una mejor solución alcanzada para la misma instancia. Aunque ya se han obtenido resultados favorables, actualmente la presente investigación sigue en curso para proponer modificaciones a otros algoritmos metaheurísticos con el fin de mejorar su desempeño en problemas de teoría de inventarios.

## Referencias

Alejo-Reyes, A.; Mendoza, A.; Olivares-Benitez, E. Inventory replenishment decisions model for the supplier selection problem facing low perfect rate situations. *Optim. Lett.* 2021, 15, 1509–1535. <https://doi.org/10.1007/s11590-019-01510-0>



# An algorithm based on kernel search for solving the thermal unit commitment problem

Uriel I. Lezama-Lopez<sup>1\*</sup>, Roger Z. Ríos-Mercado <sup>1</sup>, José Luis Ceciliano-Meza<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Posgrado de Ingeniería en Sistemas, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolas de los Garza, Nuevo León.

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Industrial, Tecnológico de Monterrey, Hermosillo, Sonora.

\*Email: uriel.lezamaop@uanl.edu.mx

**Keywords**— Unit commitment problem; kernel search; matheuristics.

The Unit Commitment Problem (UCP) in power system operation scheduling involves making decisions regarding which generators should be turned on or off at specific intervals. The UCP is formulated as a mixed-integer linear programming (MILP) model with the objective of minimizing generator production costs, while considering the system's technical, operational, and economic constraints. This problem is recognized as NP-hard [1] and needs to be solved on a daily basis within a limited timeframe. Despite significant advancements in the formulation of the UCP [2] and the computational capabilities of modern computers, obtaining optimal or near-optimal solutions [3] remains a challenge.

The Unit Commitment Problem (UCP) in power system operation scheduling takes into account various constraints. These include ensuring demand satisfaction and reserve capacities, maintaining a balance between generation and demand. Additionally, generator-specific constraints such as power production limits, turn-on and turn-off times, and power ramps up or down must be considered. Economic factors, such as variable start-up costs and generator cost modeling, are also included in the problem formulation. This article focuses on addressing the UCP variant that involves thermal generators.

In this work, we present an adaptation of the kernel search (KS) algorithm by Angelini et al. [4] to solve the Unit Commitment Problem (UCP). KS is a matheuristic that partitions the problem into smaller sub-Mixed Integer Linear Programming (MILP) subproblems, which are easier to solve. The algorithm begins by separating the binary variables into a primary set called the kernel and smaller sets called buckets. The kernel comprises the variables that are most likely to be part of the final solution, while the buckets consist of variable groups ordered based on the reduced costs of the linear relaxation of the problem. The KS method then iteratively solves the kernel and each active bucket, setting the variables of the inactive buckets to zero and solving the sub-MILP formed by the kernel and the active bucket. At each iteration, the bucket variables that take a value of one are integrated into the kernel. The algorithm terminates when the allotted time has elapsed.

The proposed implementation of KS introduces slight differences compared to the original algorithm: (i) only the binary variables identified as dominant are included in the kernel and buckets, (ii) the KS method does not construct the kernel; instead, it is obtained through a constructive algorithm, (iii) the reduced costs are calculated using the linear relaxation of the problem while setting the kernel variables to one, (iv) the KS does not terminate when the buckets are exhausted; once a solution is obtained, if there is remaining time, the buckets are reconstructed, and (v) the bucket sizing is performed using the Sturges statistical rule.

The research aims to reduce solution times for large and complex instances, generating optimal or high-quality solutions within a maximum time frame of one to two hours. A total of eighty-three instances, categorized as small, medium, and large, were constructed based on well-known instances with varying degrees of complexity [5]. The results demonstrate that the proposed method achieved better solutions in shorter time periods compared to the commercial optimizer, particularly for medium and large instances. Additionally, statistical tests provided further support for the superiority of the proposed method. Ongoing research focuses on exploring the application of the method to the hydrothermal UCP variant with market constraints.





## References

- [1] P. Bendotti, P. Foulhoux, and C. Rottner. On the complexity of the unit commitment problem. *Annals of Operations Research*, 274(1):119–130, 2019.
- [2] B. Knueven, J. Ostrowski, and J. P. Watson. On mixed-integer programming formulations for the unit commitment problem. *INFORMS Journal on Computing*, 32(4):857–876, 2020.
- [3] B. Eldridge, R. O'Neill, and B. F. Hobbs. Near-optimal scheduling in day-ahead markets: Pricing models and payment redistribution bounds. *IEEE Transactions on Power Systems*, 35(3):1684–1694, 2020.
- [4] E. Angelelli, R. Mansini, and M. Grazia Speranza. Kernel search: A general heuristic for the multi-dimensional knapsack problem. *Computers & Operations Research*, 37 (11):2017–2026, 2010.
- [5] G. Morales-España, J. M. Latorre, and A. Ramos. Tight and compact MILP formulation for the thermal unit commitment problem. *IEEE Transactions on Power Systems*, 28(4):4897–4908, 2013



# Reducing waiting times in a health center using hybrid discrete-event simulation and optimization model

Jesús Isaac Vázquez Serrano<sup>1\*</sup>, Leopoldo Eduardo Cárdenas-Barrón<sup>1</sup>, Julio César Vicencio Ortiz<sup>2</sup>, Timothy Matis<sup>3</sup>, Carlos Martín Gaitán Mercado<sup>4</sup>, Rodrigo E. Peimbert García<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería y Ciencias, Tecnológico de Monterrey, Monterrey, Nuevo León.

<sup>2</sup>Escuela de ingeniería y Ciencias, Tecnológico de Monterrey, Aguascalientes, Aguascalientes.

<sup>3</sup>Department of Industrial Engineering, Texas Tech University, Texas, Estados Unidos.

<sup>4</sup>Centenario Hospital Miguel Hidalgo, Aguascalientes, Aguascalientes.

<sup>5</sup>School of Engineering, Macquarie University, New South Wales, Australia.

\* Correo electrónico: [jisaac.vazquez@tec.mx](mailto:jisaac.vazquez@tec.mx), [lecarden@tec.mx](mailto:lecarden@tec.mx), [jvicenci@tec.mx](mailto:jvicenci@tec.mx), [timothy.matis@ttu.edu](mailto:timothy.matis@ttu.edu), [unimedint@hotmail.com](mailto:unimedint@hotmail.com), [rodrigo.peimbert@tec.mx](mailto:rodrigo.peimbert@tec.mx)

**Keywords**— Hybrid model, Mixed-integer linear model, heuristic algorithm, Discrete-event simulation

The examination rooms are usually the first contact of the patient with health systems, especially for non-critical diseases, so enhancing the quality treatment in examination rooms is a critical concern (Fisher et al. 2020). For most of the examination rooms, patients enter to consultation following a First In First Treat (FIFT) logic, which, from the operational perspective, is inefficient and lead to long waiting times for patients. This article proposes a hybrid discrete-event simulation and mixer-integer formulation model, with the objective of assign patients to exam rooms considering health priorities, and time and resources constraints.

It is considered that patients arrive to the examination rooms according to a probability function, and for every discrete interval, a mixed-integer linear optimization model is run to allocate patients, taking into account health priorities, preparation times, and availability of time and resources. As stated by (Abreu et al. 2020) and (Ribas et al. 2021) the scheduling problems considering sequence dependent setup times, as the problem in this paper, belong to the NP-hard category. NP-hard problems are very complicated to solve for large instances by the exact method, therefore, it is proposed a heuristic algorithm to find a fast, feasible and good solution, without ensuring optimality. The heuristic algorithm is composed by two phases: (1) Constructive and (2) Improvement procedure. Constructive procedure takes the data of a given instance, and aims to assemble a good and feasible solution. Improvement procedure takes the initial solution, and aims to perturbate the solution to increase as much as possible the objective function value, by intra (within examination rooms) and inter (among examination rooms) perturbations.

It was randomly defined 180 instances divided by small, medium and large. Computational experiments showed the mixed-integer linear model is suitable for small instances, while the heuristic algorithm is more appropriate for medium and large instances, since the algorithm is faster and the relative deviations with respect to the linear model were below five percent. Finally, to exemplify the model, data was gathered from the Secretary of Health of the State of Aguascalientes (ISSEA, by the initials in Spanish), and the discrete-event simulation was run for two cases: (1) FIFT logic, and (2) Using the optimization model. The hybrid model reduced the global waiting times up to 90%, while the number of patients with high health priority who are not treated up to 100%.





## References

Abreu, L. R., Cunha, J. O., Prata, B. A., y Framinan, J. M. A genetic algorithm for scheduling open shops with sequence-dependent setup times. *Computers and Operations Research*, 113, 104793, 2020.

Fischer, G. S., Righi, R. d. R., Ramos, G. d. O., da Costa, C. A., y Rodrigues, J. J. ElHealth: Using Internet of Things and data prediction for elastic management of human resources in smart hospitals. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 87, 103285, 2020.

Ribas, I., Companys, R., & Tort-Martorell, X. An iterated greedy algorithm for the parallel blocking flow shop scheduling problem and sequence-dependent setup times. *Expert Systems with Applications*, 184, 115535, 2021.



# Variaciones Conjeturales Consistentes como Estrategias Óptimas del Equilibrio de Nash

José Guadalupe Flores Muñiz,<sup>1\*</sup> , Nataliya Kalashnykova<sup>1</sup> , y Viacheslav Kalashnikov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Matemáticas del Centro de Investigación en Ciencias Físico Matemáticas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México.

\* Correo electrónico: jfloresm@uanl.edu.mx

**Palabras claves**— *variación conjetural, juego en dos etapas, equilibrio de Nash*

Bowley (1924) y Frisch (1951) introdujeron la noción de variaciones conjeturales, la cual extiende el concepto de equilibrio introducido por Cournot y Nash, como una solución alternativa para los juegos no cooperativos.

Sin embargo, aparecen complicaciones al examinar la consistencia en problemas que involucran varios agentes distintos, es decir, cuando se tienen más de 2 jugadores (véase, Kalashnikov et al. (2017) y Figuiéres et al. (2004)).

Este inconveniente relacionado con los juegos de múltiples jugadores se analizó en Bulavsky (1997). En tal artículo se describe un procedimiento para obtener un criterio de consistencia aún cuando la cantidad de jugadores es muy grande. No obstante, tal criterio hace uso de la estructura de oligopolio del modelo considerado en ese artículo, por lo que este criterio de consistencia no se puede aplicar a otros modelos matemáticos distintos.

Por tal razón, en este trabajo estudiamos más a fondo el concepto de variaciones conjeturales consistentes para los modelos de oligopolio. A pesar de que este concepto de consistencia presenta una solución diferente a aquella a la que se llega utilizando la conjetura clásica de Cournot–Nash, si consideramos las conjeturas de los jugadores como sus posibles estrategias en un juego no cooperativo en dos etapas, denominado meta-juego, encontramos una relación muy interesante.

Definimos este meta-juego como aquel en el que los jugadores son los mismos agentes que en el oligopolio original, pero ahora utilizando sus posibles conjeturas como sus estrategias. Bajo ciertas condiciones, demostramos que el equilibrio de Nash para el meta-juego es equivalente al equilibrio consistente con variaciones conjeturales para el modelo de oligopolio original (véase, Kalashnikov et al. (2019)).

Este resultado es muy importante ya que nos permite extender el concepto de variaciones conjeturales consistentes a otro tipo de modelos económicos y financieros que carecen de ciertas características que tienen los modelos de oligopolio. Más aún, este resultado también nos muestra una relación entre el equilibrio clásico de Cournot–Nash y el equilibrio consistente con variaciones conjeturales, siendo este último también un equilibrio de Cournot–Nash.





## Referencias

Arthur Lyon Bowley. The mathematical groundwork of economics: An introductory treatise. Clarendon Press, 1924.

V. A. Bulavsky. Structure of demand and equilibrium in a model of oligopoly. *Economics and Mathematical Methods (Ekonomika i Matematicheskie Metody)*, 33(3):112–134, 1997. In Russian.

Charles Figuères, Alain Jean-Marie, Nicolas Quérou, and Mabel Tidball. *Theory of Conjectural Variations*. World Scientific, Singapore, 2004.

Ragnar Frisch. Monopoly, polypoly: The concept of force in the economy. *International Economic Papers*, 1:23–36, 1951.

V. V. Kalashnikov, V. A. Bulavsky, N. I. Kalashnykova, and F. López-Ramos. Consistent conjectures are optimal Cournot-Nash strategies in the meta-game. *Optimization*, 66(12):2007–2024, 2017.

Viacheslav Kalashnikov, Nataliya Kalashnykova, and José Guadalupe Flores-Muñiz. Consistent conjectural variations coincide with the Nash solution in the meta-model. *Networks and Spatial Economics*, pages 1–25, 2019. doi: 10.1007/s11067-019-09473-6.





# Un enfoque multiobjetivo para el diseño de una cadena de suministro circuito cerrado sustentable con instalaciones híbridas

Joel-Noví Rodríguez-Escoto1\*, Elías Olivares-Benítez 1 y Samuel Nucamedi-Guillén 1

1 Facultad de Ingeniería, Universidad Panamericana, Zapopan 45010, México.

\* Correo electrónico: jorodrigu@up.edu.mx

**Palabras claves**— Optimización multiobjetivo, Cadena de suministro sustentable, Instalaciones híbridas.

La sustentabilidad de una cadena de suministro se ve reflejada en un diseño bidireccional de la misma y a su vez en el involucramiento de variables económicas, ambientales y sociales. Este trabajo aborda un problema multiobjetivo de diseño de cadena de suministro sustentable, el cual está basado en el diseño de cadena de suministro de ciclo cerrado de Pazhani et al. (2021) (modelo RENDER) que consta de proveedores, centros de manufactura, centros de distribución, instalaciones híbridas (funciones de reciclaje y de distribución), tiendas minoristas, vehículos de diferente tipo y centros urbanos.

El problema bajo estudio es formulado mediante un modelo entero mixto que minimiza: el costo total asociado a la cadena (económico), en el cual se toman las decisiones como el proveedor, la cantidad de materia prima, la cantidad de producto para cada escalón, apertura de instalaciones (manufactura, almacenamiento, instalaciones híbridas) y la cantidad de inventario por instalación; la emisión de CO2 donde se decide la cantidad y el tipo de vehículos para el transporte de producto para cada escalón implicando vehículos eléctricos y de combustión interna de diferentes capacidades (ambiental); y la exposición de la población a instalaciones híbridas indeseables (social, por ejemplo en el rubro como el reciclaje de metales las emisiones de la fundición se consideran indeseables), basado en la decisión de la cantidad de población expuesta al impacto de negativo de las instalaciones híbridas calculado por su distancia a los centros urbanos.

El modelo propuesto se resuelve a través del método AUGMECON2, considerando instancias teóricas (generadas a partir de los parámetros proporcionados en Pazhani et al. (2021)) que representan adecuadamente las características del problema, a su vez, los modelos fueron implementados en AMPL y resueltos con el optimizador Gurobi 10.0.0 en un equipo de cómputo con Intel Core i7-6600U procesador de 2.6GHz 16 GB RAM sistema operativo Windows 10 con un tiempo límite de 7200 segundos por iteración.

Resultados preliminares en la generación de la matriz lexicográfica permiten observar que, al minimizar el objetivo económico el modelo tiende a la selección de vehículos de combustión interna. Por el contrario, minimizar el objetivo ambiental conlleva a la selección de vehículos eléctricos, mientras que, al minimizar el objetivo social, se induce la apertura mínima de instalaciones híbridas indeseables. En la ejecución de las instancias propuestas por la literatura base, se logran obtener de manera óptima los resultados de instancias con hasta 10 tipos de materia prima, 20 proveedores, 3 centros de manufactura, 5 instalaciones híbridas, 10 centros de distribución, 30 tiendas minoristas, 2 tipos y 3 tamaños de vehículos y 6 centros urbanos, de los cuales se obtienen frentes de Pareto mediante los cuales el tomador de decisiones selecciona la más adecuada a sus intereses.

## Referencias

Pazhani, S., Mendoza, A., Nambirajan, R., Narendran, T., Ganesh, K., & Olivares-Benítez, E. (2021). Multi-period multi-product closed loop supply chain network design: A relaxation approach. *Computers & Industrial Engineering*, 155, 107191. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107191>.

Fourer, R., Gay, D. M., & Kernighan, B. W. (1995). *Ampl*. Danvers, MA: Boyd & Fraser.



# Modelación dinámica y control óptimo de una cadena de suministros automotriz multiproducto con combinación de partes

Carlos E. López-Landeros, 1\* Ricardo Valenzuela-González, 1 y Elías Olivares-Benitez2

1Facultad de Ingeniería, Universidad Panamericana, Aguascalientes, Aguascalientes.

2Facultad de Ingeniería, Universidad Panamericana, Zapopan, Jalisco.

\* Correo electrónico: 0249702@up.edu.mx

**Palabras claves**— Cadena de suministro automotriz, Control Óptimo, Problema de producción-inventario, Programación Dinámica

La cadena de suministros automotriz es una de las industrias más atractivas y dinámicas [1]. Las necesidades diversas de los clientes y la competencia global obligan a que las empresas que conforman este sector, busquen coordinarse de la mejor manera para reducir costos, aumentar rentabilidad y cumplir con las expectativas del cliente.

En este trabajo, un proceso de toma de decisiones se explora mediante la implementación de técnicas de optimización dinámica del tipo de Control Óptimo y Programación Dinámica [2]. Se propone un problema de Control Óptimo determinista para una cadena automotriz de 5 eslabones y 3 modelos de automóviles, con operaciones de combinación de partes. Se considera que opera bajo una estrategia push/pull y se busca determinar la política de operación óptima que minimiza una función de costo mientras satisface una demanda específica. El modelo dinámico se construye a partir de la analogía del problema de tanques [3] para representar a través de ecuaciones diferenciales ordinarias, los niveles de producción-inventario en cada nodo de la cadena que no rebasen su capacidad máxima definida. Las tasas de adquisición de materia prima para la producción de partes se consideran como variables de control.

El problema se resuelve usando Programación Dinámica Iterativa, que es un algoritmo de búsqueda exhaustiva basado en el Principio de Optimalidad de Bellman [4]. El algoritmo se encuentra codificado en FORTRAN. Los resultados demuestran que el modelo propuesto es adecuado para representar el comportamiento dinámico de la cadena de suministros y brinda información útil para delinear un proceso de toma de decisiones no empírico.

## Referencias

[1] Markov and P. Vitliemov, "Logistics 4.0 and supply chain 4.0 in the automotive industry," IOP Conf Ser Mater Sci Eng, vol. 878, no. 1, p. 012047, Jun. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/878/1/012047.

[2] D. P. Bertsekas, Dynamic programming and optimal control, 4th ed., vol. II. Athena Scientific, 2015.

[3] H. Taboada, Y. A. Davizón, J. F. Espiritu, and J. Sánchez-Leal, "Mathematical Modeling and Optimal Control for a Class of Dynamic Supply Chain: A Systems Theory Approach," Applied Sciences, vol. 12, no. 11, p. 5347, May 2022, doi: 10.3390/app12115347.

[4] S. Li, Y. Ge, and Y. Shi, "An iterative dynamic programming optimization based on biorthogonal spatial-temporal Hammerstein modeling for the enhanced oil recovery of ASP flooding," J Process Control, vol. 73, pp. 75–88, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.jprocont.2018.12.008



# Designing Optimal Districts for On-time Last-mile Express Delivery Services through a Heuristic Approach

Gabriela Sandoval<sup>1</sup>, Eduardo Álvarez-Miranda<sup>2</sup>, Jordi Pereira<sup>3</sup>, Roger Z. Ríos<sup>4\*</sup>, Juan A. Díaz<sup>5</sup>

<sup>1</sup> BAIN & Company, México.

<sup>2</sup> Universidad de Talca, Chile.

<sup>3</sup> Universidad Adolfo Ibáñez, Chile.

<sup>4</sup> Graduate Program in Systems Engineering, UANL, México.

<sup>5</sup> UDLAP, México.

\* Correo electrónico: roger@yalma.fime.uanl.mx

**Keywords**— Combinatorial optimization; Districting; Last-mile delivery; Heuristics.

Last-mile logistics correspond to the last leg of the supply chain, i.e., the delivery of goods to final customers, and they comprise the core activities of postal and courier companies. In this work we address a last-mile logistic design problem faced by an express delivery firm in Chile. The operational structure of the company is based on the division of an urban area into smaller territories (districts) and the out-sourcing of the delivery operation of each territory to a last-mile contractor. Due to the increasing volume of postal traffic and a decreasing performance of the service, in particular for the case of express deliveries, the company is forced to redesign its current territorial arrangement. Such redesign results in a novel optimization problem that resembles a classical districting problem with additional quality of service requirements. In contrast with traditional approaches seeking to minimize routing costs, here we aim at maximizing the number of on-time deliveries. This novel problem is first formulated as a mathematical programming model and then a specially tailored heuristic is designed for solving this NP-hard problem. The proposed heuristic has a construction phase where individual districts are built, a routing phase that finds a customer routing for each district, and a solution improvement phase through local search by developing a novel neighborhood structure. The proposed approach is tested on real-world instances. The results indicate significant improvements in terms of the percentage of on-time deliveries achieved by the proposed solution when compared to the current districting design of the company. Furthermore, by performing a sensitivity analysis with respect to different levels of demand, we show that the proposed approach is effective in providing districting designs capable of handling significant increases in the demand for express postal services.



# Clasificando soluciones factibles binivel de un problema de localización competitiva bi-objetivo

Carlos Eduardo Corpus,<sup>1</sup> \* y José Fernando Camacho Vallejo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación Ciencias Físico Matemáticas, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolas de los Garza, Nuevo León.

<sup>2</sup> Tecnológico de Monterrey, Escuela de Ingeniería y Ciencias, Ave. Eugenio Garza Sada 2501 Sur Monterrey, Nuevo León.

\* Correo electrónico: carlos.corpuscrd@uanl.edu.mx

**Palabras claves**— Localización Competitiva, Programación Binivel, Programación Bi-Objetivo, Epsilon Constraint

El problema de localización de instalación competitiva es una importante área de investigación que ayudan a las compañías a optimizar sus operaciones y mantenerse competitivas en el mercado. En muchas ocasiones, estas compañías interactúan en el mercado bajo una cierta jerarquía basado en su posición económica, marketing, marca así como otros criterios. En esta investigación consideramos un problema bajo estas circunstancias: dos empresas competitivas, una con mayor jerarquía que la otra donde cada una busca localizar un número predefinido de instalaciones.

La compañía de mayor jerarquía busca maximizar su propia su ganancia, mientras que la compañía con menor jerarquía tiene dos objetivos: maximizar su propia ganancia y que la mínima distancia entre dos plantas sea lo más grande posible. Para modelar este problema un problema binivel es propuesto, basado en un problema clásico de la literatura el problema del  $(r-p)$  centroide además que el problema del nivel inferior se puede ver como una variante del problema de la  $p$ -dispersión.

En un problema binivel, el nivel inferior debe ser resuelto a optimalidad para obtener la reacción del seguidor a una decisión fija tomada por el lider. En nuestro problema eso no es directo, dado que el problema del nivel inferior consiste en un problema biobjetivo obtenemos un frente de pareto y no esta claro cual solución tomará el seguidor. Una clasificación de estas soluciones eficientes bajo esquemas optimistas, pesimistas y otros enfoques se realiza para analizar el impacto de la función objetivo en el nivel superior.

## Referencias

D.R Santos-Peñate, C.M Campos-Rodríguez, J.A Moreno-Pérez The generalized discrete  $(r-p)$  centroid problem International Transactions in Operational Research, 26(1):340–363, 2019.

i  
S. Dempe., A. Zemkoho Bilevel Optimization Springer optimization and its applications, 161, 2020.



# Planes de viaje en transporte público con preferencias del usuario mediante técnicas de inteligencia artificial

Fernando Elizalde Ramírez,1 \* y Romeo Sánchez Nigenda2

1Departamento de Ciencias, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, Nuevo León

2Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León.

\* Correo electrónico: fer.elizalde@tec.mx

**Palabras claves**— modelos de inteligencia artificial, espacio de estados, planes de viaje, transporte público, preferencias del usuario

En este trabajo se presentan modelos de inteligencia artificial basado en el espacio de estados Brewka (1996) y de programación lineal que permiten la generación de planes de viaje para usuarios del transporte público, teniendo en cuenta consideraciones propias del sistema y del mismo usuario, como pueden ser la variable para optimizar o el tipo de restricciones a considerar, tales como el tiempo de traslado ya sea del todo el viaje o solo caminando, costos económicos.

Nuestro modelo representa la topología de una red pública de transporte mediante rutas de autobuses, la cual es fija, teniendo entonces que el usuario debe adaptarse a ella. Y junto a esto, para la generación de planes se modelan las diversas acciones presentes en un viaje de este tipo, donde cada acción contiene condiciones y efectos Elizalde (2019). Es decir, una acción representa un movimiento a realizar y solo se puede llevar a cabo si cumple con ciertas condiciones y si esto sucede genera un efecto en el espacio de estados. Lo anterior se puede ver de mejor manera en la Figura 1, donde se muestra las conexiones (flechas) entre las diversas acciones (rectángulos grises), así como las condiciones, efectos (círculos), si las condiciones se cumplen la acción se puede realizar y genera un efecto en el espacio de estados y preferencias presentes en el modelo, efecto de una acción condiciona a las nuevas acciones. Sobre las conexiones se observan condiciones numéricas que deben cumplirse y estas son dadas por las preferencias del usuario, además de agregar un costo por realizarse.

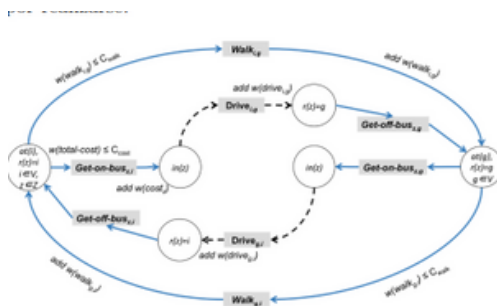


Figura 1: Diagrama de transición



Para el modelo de inteligencia artificial se hace uso de técnicas de representación del conocimiento de inteligencia artificial, se busca generar un modelo de planificación en formato PDDL (Planning Domain Definition Language) Fox (2003), Benton (2012) que capture la topología de la red de transporte, la función de transición de las acciones necesarias para llevar a cabo un plan, y las múltiples métricas que nos permiten preferir o restringir dentro del plan.

Se propone una primera experimentación con redes artificiales, con las cuales se probaron los modelos propuestos y a partir de los resultados obtenidos se proponen técnicas para la reducción del grafo, esto para acotar el espacio de búsqueda, mejorar la calidad de la solución y los tiempos de cómputo. Después se realizó una nueva experimentación con redes de transporte público reales. Se presentará una comparativa de los resultados obtenidos entre el modelo de planificación y el matemático.

### **Referencias**

Gerd Brewka. Artificial intelligence—a modern approach by Stuart Russell and Peter Norvig, Prentice Hall. Series in Artificial Intelligence, Englewood Cliffs, NJ.. The Knowledge Engineering Review, 1996.

Benton, J and Coles, Amanda and Coles, Andrew. Temporal planning with preferences and time-dependent continuous costs, . Proceedings of the International Conference on Automated Planning and Scheduling, 2012.

Fox, Maria and Long, Derek. PDDL2. 1: An extension to PDDL for expressing temporal planning domains. Journal of artificial intelligence research, 2003.

Elizalde-Ramirez, Fernando, Nigenda, Romeo Sanchez, Martínez-Salazar, Iris A and Ríos-Solís, Yasmín A´ Travel plans in public transit networks using artificial intelligence planning models. Applied Artificial Intelligence, 2019.



# Planes de viaje en transporte público con preferencias del usuario mediante técnicas de inteligencia artificial

Fernando Elizalde Ramírez,1 \* y Romeo Sánchez Nigenda2

1Departamento de Ciencias, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, Nuevo León

2Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León.

\* Correo electrónico: fer.elizalde@tec.mx

**Palabras claves**— modelos de inteligencia artificial, espacio de estados, planes de viaje, transporte público, preferencias del usuario

En este trabajo se presentan modelos de inteligencia artificial basado en el espacio de estados y de programación lineal que permiten la generación de planes de viaje para usuarios del transporte público, teniendo en cuenta consideraciones propias del sistema y del mismo usuario, como pueden ser la variable para optimizar o el tipo de restricciones a considerar, tales como el tiempo de traslado caminando, costos económicos, esto se puede ver en la Figura 1.



Figura 1: Preferencias del usuario

Nuestro modelo representa la topología de una red pública de transporte mediante rutas de autobuses, la cual es fija, teniendo entonces que el usuario debe adaptarse a ella. Y junto a esto, para la generación de planes se modelan las diversas acciones presentes en un viaje de este tipo, donde cada acción contiene condiciones y efectos. Es decir, una acción representa un movimiento a realizar y solo se puede llevar a cabo si cumple con ciertas condiciones y si esto sucede genera un efecto en el espacio de estados. Lo anterior se puede ver de mejor manera en la Figura 2, donde se muestra las conexiones entre las diversas acciones, así como las condiciones, efectos y preferencias presentes en el modelo.

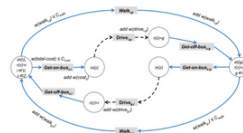


Figura 2: Diagrama de transición

Para el modelo de inteligencia artificial se hace uso de técnicas de representación del conocimiento de inteligencia artificial, se busca generar un modelo de planificación en formato PDDL (Planning Domain Definition Language) que capture la topología de la red de transporte, la función de transición de las acciones necesarias para llevar a cabo un plan, y las múltiples métricas que nos permiten preferir o restringir dentro del plan.

Se propone una primera experimentación con redes artificiales, con las cuales se probaron los modelos propuestos y a partir de los resultados obtenidos se proponen técnicas para la reducción del grafo, esto para acotar el espacio de búsqueda, mejorar la calidad de la solución y los tiempos de cómputo. Después se realizó una nueva experimentación con redes de transporte público reales. Se presentará una comparativa de los resultados obtenidos entre el modelo de planificación y el matemático



# Aplicación de la simulación de sistemas para determinar la cantidad de personal en el proceso de atención al cliente de un restaurante

Christian P. Rojas Romero<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Maestría en Investigación de Operaciones y Sistemas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú

Correo Electrónico: christianpaul.rojas@unmsm.edu.pe

**Palabras claves**— Simulación, proceso, personal, restaurante, Arena

La simulación es una herramienta que en la investigación de operaciones se ha usado para responder a varias preguntas del tipo ¿Qué pasa si? (Montufar et al., 2018). Se puede definir a la simulación como la imitación de un sistema usando un modelo de computadora con el fin de evaluar y mejorar el desempeño de este (Sarmiento y López, 2017). La simulación ha sido empleada en diversas áreas, con especial énfasis en sistemas de manufactura y de servicios, a su vez, estudios anteriores han demostrado su utilidad para el diseño de restaurantes (Pérez y Riaño, 2007).

El restaurante en estudio desea implementar campañas de publicidad para incrementar la demanda de clientes. En este contexto se presenta un problema para la gerencia, el cuál es determinar la cantidad de personal idónea en el proceso de atención al cliente considerando distintos escenarios para su demanda esperada y garantizar que con dicha cantidad de personal los indicadores de gestión del proceso se encuentren dentro de los parámetros establecidos por la empresa, sin generar costos innecesarios. El presente trabajo pretende realizar una aplicación de la simulación de sistemas cuyo principal objetivo es determinar las mejores políticas que brinden la cantidad de personal idóneo para el proceso de atención al cliente en los diversos escenarios asociados al incremento de demanda y que a su vez cumplan con la exigencia de los indicadores.

Se utilizó la simulación de sistemas mediante la elaboración de un modelo de simulación discreta usando el software Arena. Este modelo debe representar la situación actual del proceso de atención al cliente del restaurante y a partir del modelo planteado construir escenarios que posean distintas cantidades de personal y crecimientos esperados en la demanda con la finalidad de evaluar sus resultados. La metodología desarrollada siguió las fases que se trabajan en un proyecto de simulación: Definir el problema, desarrollar un modelo conceptual, obtener y analizar los datos recolectados, construir el simulador del proceso actual, verificar y validar el modelo, diseñar experimentos de simulación y presentar resultados. (Torres, 2016).

Para realizar la aplicación se obtuvo información de campo y documentación existente acerca del funcionamiento del proceso de atención al cliente. En el proceso se tienen 3 tipos de entrada de clientes que requieren ciertas actividades y recursos: 1) Clientes presenciales que ocupan una mesa y solicitan su pedido, 2) clientes presenciales que solicitan su pedido para llevar, y; 3) clientes delivery que solicitan su pedido vía telefónica o aplicativos. Se estableció los indicadores y las métricas que la empresa desea alcanzar. Se recolectó y analizó datos con respecto a los tiempos entre llegadas de los clientes y tiempos de servicio de las actividades del proceso, donde se obtuvo distribuciones de probabilidad asociadas a dichos tiempos. Luego se procedió a construir el modelo de simulación en Arena del proceso de atención al cliente donde se validó y verificó los resultados para garantizar que el modelo sea confiable y viable de utilizar en las experimentaciones. Se elaboró 12 escenarios basados en 4 variaciones esperadas de la demanda y 3 distintas asignaciones de personal. Con los resultados de la simulación de los escenarios se pudo obtener la cantidad de personal idóneo en cada situación planteada para la demanda, con una reducción de costos y cumpliendo con los parámetros establecidos para los indicadores del proceso. En base a lo obtenido, podría considerarse a futuro desarrollar un modelo de simulación-optimización que brinde nuevos escenarios y evaluar si es posible mejorar los resultados.







## Referencias

Montufar, M., Flores, H., Hein, N., López, J., Martínez, O., Fernández, S., Medina, J., Plá, L., Redchuk, A. y Santori, G. (2018). Investigación de Operaciones. México: Editorial Patria

Pérez, J. F., & Riaño, G. (2007). Análisis de colas para el diseño de una cafetería mediante simulación de eventos discretos. Revista de Ingeniería, 25

Sarmiento-Vásquez, A., & López-Sandoval, E. (2017). Una comparación cualitativa de la dinámica de sistemas, la simulación de eventos discretos y la simulación basada en agentes. Ingeniería Industrial, 0(035)

Torres Vega, P. J. (2016). Simulación de sistemas con el software Arena. Universidad de Lima. Fondo Editorial



# Planeación de uso de recursos en un sistema de transporte interurbano

Eder Ismael Alanís Fernández, 1\* y Iris Abril Martínez Salazar,2

1Estudiante de Maestría del Posgrado de Ingeniería de Sistemas (PISIS)-FIME-UANL. 2 Investigadora del Posgrado de Ingeniería de Sistemas (PISIS)-FIME-UANL.

\* Correo electrónico: eder.alanisfe@uanl.edu.mx

**Palabras claves**— Inter-city bus, Timetable, Bus timetable, scheduling, deterministic demand

El transporte es una herramienta esencial para ayudar a la creación de un espacio socioeconómico único que dé lugar a la libre circulación de mercancías y personas (Raphael, S. et al., 2019).

El trabajo presente aborda un problema que surge en el ramo del transporte de pasajeros interurbano. Concretamente en una empresa que se dedica a brindar el servicio de transporte para pasajeros entre diferentes ciudades.

Mediante un estudio de mercado, la empresa determina la cantidad de viajes que debe de ofrecer para su próximo horizonte de planeación el cual consiste en un conjunto de días consecutivos como por ejemplo cierto número de semanas.

Dada dicha demanda y considerando la cantidad de choferes y autobuses disponibles, el problema consiste en determinar cómo realizar la asignación de modo que cada viaje sea asignado a un único chofer y un único autobús persiguiendo dos objetivos. El objetivo principal es requerir la menor cantidad de autobuses y choferes necesarios para dicha planeación y, en segundo lugar, balancear la carga de trabajo entre los choferes. Las asignaciones deben de tomar en cuenta una serie de restricciones propias de la operación de la empresa tales como que nadie trabaje más de lo permitido, que cada chofer o autobús pueda realizar sus viajes, es decir que no haya un traslape de horas para un mismo chofer o autobús, entre otras.

Este trabajo presenta dos modelos matemáticos para determinar la planificación de uso de choferes y autobuses para la empresa, considerando los objetivos ya mencionados, comparando los modelos entre sí. Formular modelos matemáticos con dos funciones objetivo forzosamente se relaciona con la frontera de Pareto, por lo que para finalizar se genera la dicha frontera para diversas instancias del problema bajo estudio.

Este problema presenta características interesantes, relevantes en el área de optimización combinatoria. En la literatura existen esfuerzos para resolver problemas de planeación y diseño de rutas de viajes entre ciudades, por ejemplo: Allard y Moura, 2015; Steiner and Irnich, 2018, De Matta y Peters, 2009, Freling, R., Wagelmans sin embargo, no se ha encontrado un estudio que aborde un problema con todas las características analizadas en este trabajo.

## Referencias

Referencias Raphael, S., Lyeme, H., y Kuznetsov, D., Multi-objective optimization model formulation for regional bus scheduling problem., J. Math. Comput. Sci., 2019, 9(1), pp. 87-101.

Allard, R. F., & Moura, F., The Incorporation of Passenger Connectivity and Intermodal Considerations in Intercity Transport Planning. Transport Reviews, 2015, 36(2), pp. 251–277.





Steiner, K., & Irnich, S., Schedule-Based Integrated Intercity Bus Line Planning via Branch-and Cut. *Transportation Science*, 2018, 52(4), pp. 882–897.

De Matta, R., & Peters, E. (2009). Developing work schedules for an inter-city transit system with multiple driver types and fleet types. *European Journal of Operational Research*, 192(3), pp. 852–865.

Freling, R., Wagelmans, A. P., y Paix~ao, J. M. P. (2001). Models and algorithms for single-depot vehicle scheduling. *Transportation Science*, 35(2):165–180.



# El problema de la mochila cuadrática múltiple: una solución con algoritmos de estimación de distribuciones

José López,<sup>1</sup> Jonás Velasco<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Maestría en Modelación y Optimización de Procesos, CIMAT, Aguascalientes, Ags.  
<sup>2</sup> Investigador por México-CIMAT Unidad Aguascalientes.

Correos electrónicos: {jose.portillo, jvelasco} @cimat.mx

**Palabras claves**—Optimizaci3n Combinatoria, Metaheur3sticas, Algoritmo de Estimaci3n de Distribuciones.

El problema de la mochila cuadrática múltiple (MQKP) es una generalizaci3n del problema de la mochila que forma parte de los problemas del tipo NP-Difícil (Tlili et al., 2006). Dicho problema busca la asignaci3n de un conjunto de artículos en un número determinado de mochilas de manera que se maximice el beneficio de las mismas. Los beneficios cuadráticos son debido a la interacci3n entre los artículos asignados en cierta mochila; los beneficios lineales se deben a las asignaciones individuales. La suma de los pesos de los artículos asignados en las mochilas deben su capacidad máxima.

La soluci3n de este problema tiene múltiples aplicaciones en el sector industrial tales como: la programaci3n de tareas a distintas máquinas de producci3n, diseño de circuitos electrónicos, distribuci3n de recursos en una cadena de suministros y el diseño de instalaciones, entre otras. Por tal motivo, el desarrollo de técnicas para la soluci3n de este problema, es de gran relevancia en el sector de la optimizaci3n e investigaci3n de operaciones. En la literatura se encuentran distintos enfoques para la obtenci3n de soluciones, los cuales se basan en algoritmos genéticos (GA, por sus siglas en inglés). Dichos enfoques varían en el diseño de mecanismos propios para tal fin (Dogan et al., 2012). Para nuestro trabajo de investigaci3n, se propone una metaheurística que basa su funcionamiento en otros mecanismos para garantizar una soluci3n eficiente y de buena calidad. Lo anterior pretende ofrecer una variedad de técnicas para la resoluci3n de esta clase de problemas de optimizaci3n combinatoria.

Los algoritmos de estimaci3n de distribuciones (EDAs, por sus siglas en inglés), al igual que los algoritmos genéticos, es un algoritmo iterativo que utiliza el concepto de poblaci3n en la que se representa soluciones candidatas para el problema que se plantea. Mientras que en los algoritmos genéticos utilizan mecanismos de cruce y mutaci3n, los EDAs utilizan mecanismos de estimaci3n y muestreo (Larragaña et al., 2001). Es importante mencionar que los EDAs utilizan una distribuci3n de probabilidad explícita que depende de la representaci3n de las soluciones. Básicamente los algoritmos EDA basan cada iteraci3n en los siguientes tres pasos:

- Selecci3n de una proporci3n de los mejores individuos.
- Estimaci3n de los parámetros con base en la poblaci3n seleccionada.
- Muestreo de la distribuci3n de probabilidad explícita con el fin de crear una nueva poblaci3n.

Los tres pasos anteriores se repiten hasta que un criterio de paro se cumpla. El objetivo de este trabajo consiste en diseñar e implementar un algoritmo EDA para el problema de la mochila cuadrática múltiple. Con el fin de probar la eficiencia del EDA, se crearon instancias artificiales de tamaño chico, mediano y grande. Los resultados preliminares muestran que el EDA ofrece resultados superiores a los reportados con tiempos de cómputo razonables.





## Referencias

Tlili, Takwa, Hiba Yahyaoui, and Saoussen Krichen. "An Iterated Variable Neighborhood Descent Hyperheuristic for the Quadratic Multiple Knapsack Problem." *Studies in Computational Intelligence*, 2015, 245–51.

Dogan, Nilay, Kerem Bilgiçer and Tugba Saraç. Quadratic Multiple Knapsack Problem with Setups and a Solution Approach. 2012.

Larrañaga, Pedro and Jose A. Lozano, eds, Estimation of distribution algorithms: A new tool for evolutionary computation. Vol. 2. Springer Science & Business Media, 2001.



# Detección de comunidades en la red insumo-producto mundial (1995-2018)

Héctor Saib Maravillo Gómez,<sup>1</sup> \* y Eric Hernández Ramírez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Matemáticas (Unidad Cuernavaca), UNAM.

<sup>2</sup> Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM.

\* Correo electrónico: hector.maravillo@im.unam.mx

**Palabras claves**— Redes de insumo-producto, detección de comunidades, partición de gráficas, modularidad

El problema de detección de comunidades consiste en particionar una gráfica, de forma que los vértices interactúen más fuertemente con los demás miembros de su comunidad que con los vértices de otras comunidades. Una forma de abordar este problema es maximizando la modularidad, que mide la calidad de la partición de una gráfica (Fortunato y Hric, 2016). Debido a que maximizar la modularidad es un problema NP-duro (Brandes et al., 2007), se han propuesto diversos algoritmos heurísticos para resolverlo. El algoritmo de Louvain y de Leiden son los más populares y con mejor rendimiento (Traag et al., 2019).

Aplicamos los algoritmos de Louvain y de Leiden para detectar la evolución de las comunidades en la red insumo-producto mundial de 1995 a 2018. Construimos estas redes a partir de las tablas de insumo-producto inter-países anuales de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD, 2021), que contiene los flujos comerciales entre 45 actividades económicas de 66 países. Por lo tanto, son redes densas, ponderadas y dirigidas, con cerca de 3 mil vértices y más de 7 millones de aristas. Nuestro trabajo supone un avance importante en el número de países, actividades y años considerados respecto a trabajos anteriores (Cerina et al., 2015).

Dentro de los avances de la investigación, encontramos que aún es muy débil la integración comercial de las economías nacionales, incluso en regiones con acuerdos institucionales como la Unión Europea o el Mercosur. Sin embargo, el análisis de las comunidades en la red de insumo-producto mundial permite observar la formación de cadenas globales de valor, a partir de la integración estable de industrias de un país en la economía de otro. Por ejemplo, en el caso mexicano, las industrias de productos alimenticios y bebidas, así como fabricados de metal, se han integrado por completo a la comunidad formada por la economía estadounidense.

## Referencias

U. Brandes, D. Delling, M. Gaertler, R. Görke, M. Hoefer, Z. Nikoloski y D. Wagner (2007). On modularity clustering. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 20(2): 172–188.

F. Cerina, Z. Zhu y A. Chessa y M. Riccaboni (2015). World input-output network. *PLoS one*, 10(7): e0134025.

S. Fortunato y D. Hric (2016). Community detection in networks: A user guide. *Physics Reports*, 659, 1–44.

Organisation for Economic Co-operation and Development (2021). OECD Inter-Country Input-Output Database. <http://oe.cd/icio>.

V. Traag, L. Waltman y N. Van Eck (2019). From Louvain to Leiden: guaranteeing well-connected communities. *Scientific reports*, 9: 5233.



# A fast metaheuristic for the $\alpha$ -neighbor p-center problem

Ernesto Ortiz <sup>\*</sup>, Roger Z. Ríos, Diana L. Huerta-Muñoz

Graduate Program in Systems Engineering  
 Universidad Autónoma de Nuevo León

<sup>\*</sup> E-mail: neto.otz@hotmail.com

**Keywords** — Discrete optimization; Facility location problem; Heuristics

The  $\alpha$ -neighbor p-center problem (ANPCP) is a location problem in which the goal is to select p centers such that the maximum distance of a user to its  $\alpha$ th closest open facility is minimized. This problem arises when the aim is to have a minimum guaranteed response time between a demand point and its center by providing backup centers in case one of them fails to respond to an emergency (Krumke, 1995).

We propose a Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) metaheuristic to solve the ANPCP. The construction phase evaluates the objective function of the p-dispersion problem (PDP) to provide a feasible solution. We enhanced the time complexity of this heuristic, called Greedy Dispersion (GD), from  $O(mp^2)$  to  $O(mp)$ , and adapted it to use a value-based restricted candidate list (RCL) within GRASP. The constructed solution is then improved, in the next phase, by a local search heuristic whose move is a vertex substitution or interchange. We adapted the concept of fast interchange (Mladenović et al., 2003) specifically for the ANPCP and called it Alpha Fast Vertex Substitution (A-FVS). This local search is significantly faster by exploiting the structure of the objective function, allowing to reuse several expensive computations, and led to outstanding computational speedup times for all the test cases. Its details and technicalities will be explained during the talk. The proposed GRASP accepts two input parameters: a number of maximum consecutive iterations without improvement before stopping the procedure,  $imax$ ; and a threshold value to adjust the randomness of the RCL,  $\beta$ .

Table 1 shows the average results of an experiment aimed at comparing the performance of a “naive” local search (NI) and A-FVS. It can be observed that A-FVS outperforms NI in both solution quality and specially in computing time, being up to 822 times faster.

Table 1: Average results of the local search comparison (FI = First Improvement, BI = Best Improvement).

Initial	Strategy	NI			A-FVS		
		Imp. (%)	Time (s)	Moves	Imp. (%)	Time (s)	Moves
GD	FI	16.45	103.32	5.11	19.12	0.47	8.31
	BI	16.46	578.70	3.50	19.42	0.89	6.60
Random	FI	30.75	108.03	8.48	34.13	0.58	13.56
	BI	30.45	1085.07	6.51	34.58	1.32	12.07

Table 2 shows the average results of the tests conducted to measure the performance of the GRASP. The key takeaway is that A-FVS is able to yield better solutions than even the best constructed ones, revealing how the GRASP framework enhances it by guiding it over multiple starting solutions. This and more insights, including how we calibrated the input parameters, will be presented in the talk.



Table 2: Average results of GRASP(imax = 100,  $\beta = 0.2$ ).

Instance	A-FVS Improvement			Avg. Time (s)
	Min. (%)	Max. (%)	Avg. (%)	
pr439_293_146	0	36.02	13.58	31.35
rat575_384_191	6.43	21.36	14.63	51.85
rat783_522_261	4.79	21.95	13.69	96.68
dsj1000_667_333	19.05	34.48	26.46	240.53
r11323_882_441	0	37.46	13.86	255.95
r11889_1260_629	13.15	28.49	20.36	1337.72

Finally, we will incorporate a Path Relinking step within GRASP to leverage the “elite” or top-quality solutions found among the multiple iterations of the metaheuristic. Experimentation with this new addition and comparisons against other methods to solve the ANPCP will be conducted and exposed during the talk.

## References

- S. O. Krumke. On a generalization of the p-center problem. *Information Processing Letters*, 56(2):67–71, 1995.
- N. Mladenović, M. Labbé, and P. Hansen. Solving the p-center problem with tabu search and variable neighborhood search. *Networks*, 42(1):48–64, 2003.



# Implementación de una solución para el Problema de Enrutamiento De Vehículos Con Capacidad Limitada (CVRP) mediante los métodos de aleatoriedad – intercambio, Búsqueda Tabú e intensificación.

Carlos Amador Condado-Huerta 1, José Alberto Hernández-Aguilar 1\*, Martín Heriberto Cruz-Rosales 1 y Víctor Hugo Pacheco-Valencia 2

1 Facultad de Contaduría, Administración e Informática, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos.

2 Centro de Investigación en Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos.

\* Correo electrónico: jose\_hernandez@uaem.mx

**Palabras claves** — Enrutamiento de vehículos, métodos de aleatoriedad-intercambio, búsqueda Tabú, método de intensificación.

El problema de ruteo de vehículos con capacidad limitada (CVRP), es un problema NP-duro que consiste en generar una ruta óptima para cada vehículo disponible, que permita atender a un conjunto de clientes a través de una flota de vehículos con capacidad limitada, en el que la suma de las demandas de los clientes no debe superar la capacidad del vehículo (Ibrahim, Abdulaziz, Ishaya, 2019). Cada vehículo debe partir del depósito, iniciar su recorrido y mientras no supere su capacidad, visitar a sus clientes, y al terminar de visitar al último cliente o cuando supere la capacidad del vehículo debe regresar al depósito, logrando así visitar a todos los clientes una sola vez por vehículo y tener un recorrido con la menor distancia recorrida.

Para resolver el problema CVRP, en esta investigación se propuso una combinación de métodos inspirados en (Gómez-Atuesta y Rangel-Carvajal, 2011), en primer lugar 1) se utiliza el método de aleatoriedad, el cual permite mezclar los nodos para que cuando se agreguen a cada vehículo solo se considere la capacidad y no la distancia; una vez obtenida una solución factible (es decir que todos los clientes puedan ser visitados por un vehículo sin rebasar su capacidad), en segundo lugar, 2) se utiliza el método de intercambio el cual considera la distancia que existe entre cada nodo, y consiste en realizar intercambios de las posiciones de los clientes para obtener una solución inicial con un costo lo más bajo posible. Posteriormente, 3) se implementa el algoritmo de búsqueda Tabú para optimizar las rutas, y, por último, 4) se realiza un proceso de intensificación que mejora la solución final.

Para probar la combinación de métodos propuestos, se utilizaron 50 instancias de prueba CVRP (CVRPLIB, 2023): Set A (Augerat, 1995), Set E (Christofides and Eilon, 1969), Set F (Fisher, 1994), Set B (Augerat, 1995); logrando obtener soluciones factibles con una aproximación no mayor al 15% de diferencia con respecto a la solución mejor conocida (por sus siglas en inglés, BKS – Best Known Solution), y en algunos de los casos se obtuvo la mejor solución conocida. Lo anterior nos lleva a concluir que la propuesta se puede aplicar a problemas de ruteo con capacidad limitada permitiendo obtener resultados satisfactorios.

## Referencias

CVRPLIB. Capacitated Vehicle Routing Problem Library. 2023. Consultada en: <http://vrp.atd-lab.inf.puc-rio.br/index.php/en/>

David Fernando Gómez-Atuesta; Carlos Eduardo Rangel-Carvajal. Formular las metaheurísticas búsqueda tabú y recocido simulado para la solución del CVRP (Capacitated Vehicle Routing Problem). 2011.

Ibrahim, A. A., Lo, N., Abdulaziz, R. O., & Ishaya, J. A. Capacitated vehicle routing problem. Éditions universitaires européennes, 2019



# Un modelo de ruteo de vehículos dinámico para un problema de distribución de ayuda humanitaria considerando equidad en la demanda

Julia Oralia Pinales Caballero,<sup>1</sup> \* y Omar Jorge Ibarra Rojas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Ciencias Físico Matemáticas, San Nicolás de los Garza, Nuevo León\*

\* Correo electrónico: julia.pinalesca@uanl.edu.mx

**Palabras claves** — Logística humanitaria, Optimización, Problema de ruteo de vehículos dinámico, Equidad en satisfacción de la demanda

Cuando hablamos de desastres naturales, hacemos referencia a las afectaciones materiales y/o de vidas humanas ocasionadas por eventos o fenómenos naturales, tales como huracanes, inundaciones, terremotos, entre otros. En la mayoría de estas ocasiones es solicitada ayuda del gobierno, instituciones o del resto de ciudades quienes reúnen víveres que posteriormente son enviados a las zonas afectadas. Es por ello que la logística humanitaria es un factor crítico en la gestión de las operaciones de socorro (Vitoriano, 2011), y con el objetivo de proporcionar un alivio rápido a las personas damnificadas, se necesita de sistemas de distribución eficientes. Estos procesos de distribución pueden ser modelados utilizando el problema de ruteo de vehículos (VPR), como herramienta en el proceso de toma de decisiones (Ibarra- Rojas, 2021).

Sin embargo, debido al contexto bajo el cual se trabaja puede haber incertidumbre en cuanto algunos aspectos de la información necesaria para dar solución al problema. Para tratar con ellos podemos modelar la situación como un problema de ruteo de vehículos dinámico (DVRP). Este se define en base a dos aspectos: el primero es que no se cuenta con la información completa desde un inicio, y el segundo es que la información puede cambiar una vez que las rutas iniciales han sido construidas.

La forma en que se ataca es resolviendo una serie de VRP estáticos, donde cada uno de ellos es definido en cada instante de tiempo en el que la información es actualizada.

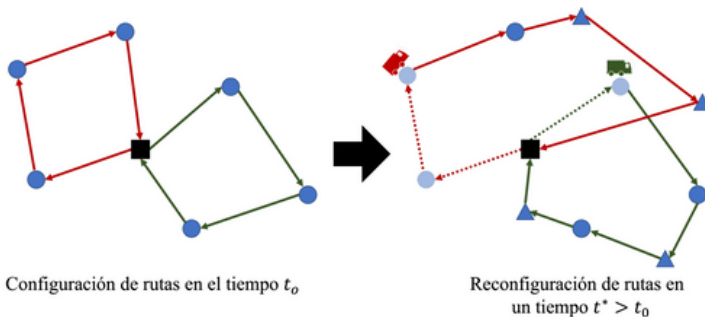


Figura 1: Ejemplo de un escenario de un ruteo de vehículos dinámico.





La mayoría de las veces, lo anterior se formula teniendo como supuesto que se contará con el suministro idóneo para garantizar la satisfacción total de los puntos de demanda, esto sería una situación ideal pero, en una situación real, no podemos garantizarlo. Debido esto, se tiene además la decisión de cómo se debe racionar el suministro con el que sí se cuenta.

Debido a lo anterior, se hace la propuesta de un modelo de distribución de ayuda el cual ha sido planteado como un problema de ruteo dinámico, teniendo como objetivo el optimizar la equidad en la distribución y los tiempos de espera de los clientes.

Se presentan además resultados preliminares del modelo propuesto para observar su desempeño.

## Referencias

Ibarra-Rojas, O.J. y Silva-Soto, Y. Vehicle routing problem considering equity of demand satisfaction. *Optim Lett*, 15:2275–2297, 2021.

Vitoriano, B., Ortuno, M.T., Tirado, G. y Montero, J. A multi-criteria optimization model for humanitarian aid distribution. *Journal of Global Optimization*, 51:189–208, 2011.



# Asignación de recursos hospitalarios a pacientes de emergencias haciendo uso de metaheurísticas

Eder Delgado,<sup>1</sup> \* Jonás Velasco<sup>2</sup> y Joel A. Trejo-Sánchez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Maestría en Modelación y Optimización de Procesos, CIMAT, Aguascalientes, Ags.

<sup>2</sup> Investigador por México-CIMAT Aguascalientes.

<sup>3</sup> Investigador por México-CIMAT Mérida.

\* Correo electrónico: {eder.delgado, jvelasco, joel.trejo} @cimat.mx}

**Palabras claves** — Servicios de salud, Asignación de Camas, Algoritmos genéticos

Los sistemas de salud desempeñan un papel vital en la sociedad al promover, proteger y preservar la salud de la población. Uno de los aspectos relevantes en los sistemas de salud es su capacidad de respuesta ante desastres, emergencias y otros siniestros. La planeación adecuada de los recursos hospitalarios como lo son los recursos quirúrgicos coadyuva a una mejor respuesta ante crisis, como la suscitada por la pandemia por la COVID-19, minimizando así las afectaciones en ámbitos humanos, sociales y económicos. El objetivo principal de este estudio es modelar el sistema de asignación de camas a pacientes de emergencias en busca de minimizar el tiempo de respuesta ante situaciones críticas con el uso de técnicas de optimización, tales como lo son los algoritmos genéticos (GA) y algoritmos de estimación de distribuciones (EDAs). La principal hipótesis del trabajo es que se puede lograr un mejor desempeño en la asignación de las camas a pacientes de emergencias si se considera el traslado entre unidades hospitalarias. Por otro lado, este estudio pretende ofrecer a los responsables de políticas de salud una herramienta efectiva para la toma de decisiones en la gestión de emergencias. Los resultados preliminares alcanzados hasta el momento son considerados de buena calidad en tiempos de computo razonables.

## Referencias

Bart Cardoen, Erik Demeulemeester y Jeroen Belien. Operating room planning and scheduling: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 201(3), 921-932, 2010.

David E. Goldberg. *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Addison-Wesley Professional, 1989.

Pedro Larrañaga y Jose A. Lozano. Estimation of Distribution Algorithms. En Springer eBooks . <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1539-5> 2002



# Service planning optimization with balanced wages

Gabriela Sánchez-Yepez,<sup>1</sup>\*, M. Angélica Salazar-Aguilar<sup>1</sup> and Vincent Boyer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Graduate Program in Systems Engineering, San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

\* Correo electrónico: {eder.delgado, jvelasco, joel.trejo} @cimat.mx

**Key words** — Constraint programming, Team Orienteering Problem, Workload equity, Balanced wages

This work presents a telecommunications service planning problem that consists of the daily allocation of service orders to a set of available crews by ensuring balanced wages. Therefore, it requires finding the optimal assignments and schedules to perform the service orders. Side constraints include the workers' skills and the duration of the working day. Moreover, the problem deals with multiple time windows related to the crew availability and customer specifications. In this talk, we will describe a constraint programming model and discuss the obtained results after conducting extensive experiments using a large set of instances with diverse characteristics.



# Algoritmo para Resolver el Problema de los Vendedores Viajeros Limitado Euclidiano con un Depósito

Víctor Pacheco 1\*, Nodari Vakhania 1 y José A. Hernández2.

1Centro de Investigación en Ciencias, UAEMor, Cuernavaca, Morelos.

2Facultad de Contaduría, Administración e Informática, UAEMor, Cuernavaca, Morelos.

\* Correo electrónico: vhpacval@gmail.com

El Problema de los Vendedores Viajeros (MTSP por sus siglas en inglés, Multiple Traveling Salesman Problem) es un problema de optimización combinatoria que encuentra aplicación en una variedad de contextos del mundo real, tales como la robótica, el transporte, las redes informáticas y la programación de trabajos (Bektas, 2006; Cheikhrouhou and Koufi, 2021). El problema consiste en un conjunto de  $n$  lugares que deben ser visitados una única vez por uno de los  $k$  vendedores. Estos vendedores tienen su punto de partida en un lugar específico conocido como el “depósito”. Una vez que cada vendedor ha concluido la visita a estos lugares, debe regresar al depósito. En esta investigación nos enfocamos en la variante euclidiana del MTSP limitada (Euclidean Single-Depot Bounded MTSP), que establece un límite mínimo  $m_{\min}$  y máximo  $m_{\max}$  en la cantidad de ciudades que un vendedor puede recorrer, y cuyo objetivo principal radica en la generación de  $k$  recorridos  $T_j$  (para  $j = 1, 2, \dots, k$ ), de manera que la suma total de las distancias recorridas por los  $k$  vendedores sea mínima. En términos matemáticos, buscamos resolver la siguiente expresión:  $\min T_1, \dots, T_k \{C(T_1) + \dots + C(T_k)\}$ .

El algoritmo presentado consta de tres fases y representa una extensión del algoritmo propuesto en (Pacheco Valencia, V. et al., 2021). La primera fase se enfoca en particionar el conjunto de los  $n$  lugares en  $k$  subconjuntos, donde la cardinalidad de cada subconjunto varía entre  $m_{\min}$  y  $m_{\max}$ . En la segunda fase, se genera un recorrido para cada uno de estos subconjuntos mediante el algoritmo CII (Pacheco-Valencia, V. et al., 2020). La tercera fase, por su parte, se dedica a mejorar iterativamente la solución factible construida previamente. La principal aportación de este algoritmo reside en el enfoque con el cual se realiza la partición del conjunto de vértices en la primera fase. Asimismo, la secuencia empleada en la fase 3 para la mejora de la solución también desempeña un papel crucial en la obtención de buenas soluciones.

El algoritmo fue codificado en lenguaje C++ y ejecutado en un servidor con procesador 2x Intel Xeon E5-2650 0@ 2.8 GHz, con 32 GB en RAM y Sistema Operativo Debian 10 (Buster). Entre los resultados experimentales para 22 instancias de prueba, el algoritmo mejoró 12 soluciones mejores conocidas (BKS), 4 soluciones son iguales que sus BKS, 4 soluciones tienen una aproximación por debajo del 3 % del BKS, y las últimas 2 últimas instancias tienen una aproximación por arriba del 3 %.

## Referencias

Bektas, T. The multiple traveling salesman problem: an overview of formulations and solution procedures. *Omega*, 34: 209–219, 2006.

Cheikhrouhou, O. y Koufi, I. A comprehensive survey on the Multiple Traveling Salesman Problem: Applications, approaches and taxonomy. In *Comput. Sci. Rev.* 40:100369 2021

Pacheco-Valencia, V.; Vakhania, N.; Hernández, J. A. y Hernández-Gómez, J.C.; A Fast Algorithm for Euclidean Bounded Single-Depot Multiple Traveling Salesman Problem. In *Proceedings of the 1st Online Conference on Algorithms*, 27 September - 10 October 2021, MDPI: Basel, Switzerland, <https://sciforum.net/manuscripts/10898/manuscript.pdf>

Pacheco-Valencia, V.; Hernández, J. A.; Sigarreta, J. M. y Vakhania, N.; Simple Constructive, Insertion, and Improvement Heuristics Based on the Girding Polygon for the Euclidean Traveling Salesman Problem. In *Algorithms* 2020, 13(1), 5.



# Análisis de mitigación de CO2 con viajes interurbanos en vehículos eléctricos

Francisco Ruiz1\*, Elías Olivares1 y Adrián Ramirez-Nafarrate2 1 Facultad de Ingeniería, Universidad Panamericana, Guadalajara, Jalisco. 2 Escuela de Ingeniería y Ciencias, Tecnológico de Monterrey, Guadalajara, Jalisco.

\* Correo electrónico: 0185303@up.edu.mx

**Palabras claves** — Vehículo eléctrico, Viaje interurbano, mitigación CO2

El Problema de los Vendedores Viajeros (MTSP por sus siglas en inglés, Multiple Traveling Salesman Problem) es un problema de optimización combinatoria que encuentra aplicación en una variedad de contextos del mundo real, tales como la robótica, el transporte, las redes informáticas y la programación de trabajos (Bektas , 2006; Cheikhrouhou and Khoufi , 2021). El problema consiste en un conjunto de  $n$  lugares que deben ser visitados una única vez por uno de los  $k$  vendedores. Estos vendedores tienen su punto de partida en un lugar específico conocido como el “depósito”. Una vez que cada vendedor ha concluido la visita a estos lugares, debe regresar al depósito. En esta investigación nos enfocamos en la variante euclidiana del MTSP limitada (Euclidean Single-Depot Bounded MTSP), que establece un límite mínimo  $mmín$  y máximo  $mmáx$  en la cantidad de ciudades que un vendedor puede recorrer, y cuyo objetivo principal radica en la generación de  $k$  recorridos  $T_j$  (para  $j = 1, 2, \dots, k$ ), de manera que la suma total de las distancias recorridas por los  $k$  vendedores sea mínima. En términos matemáticos, buscamos resolver la siguiente expresión:  $\min T_1, \dots, T_k \{C(T_1) + \dots + C(T_k)\}$ .

El algoritmo presentado consta de tres fases y representa una extensión del algoritmo propuesto en (Pacheco Valencia, V. et al. , 2021). La primera fase se enfoca en particionar el conjunto de los  $n$  lugares en  $k$  subconjuntos, donde la cardinalidad de cada subconjunto varía entre  $mmín$  y  $mmáx$ . En la segunda fase, se genera un recorrido para cada uno de estos subconjuntos mediante el algoritmo CII (Pacheco-Valencia, V. et al. , 2020). La tercera fase, por su parte, se dedica a mejorar iterativamente la solución factible construida previamente. La principal aportación de este algoritmo reside en el enfoque con el cual se realiza la partición del conjunto de vértices en la primera fase. Asimismo, la secuencia empleada en la fase 3 para la mejora de la solución también desempeña un papel crucial en la obtención de buenas soluciones.

El algoritmo fue codificado en lenguaje C++ y ejecutado en un servidor con procesador 2x Intel Xeon E5-2650 0@ 2.8 GHz, con 32 GB en RAM y Sistema Operativo Debian 10 (Buster). Entre los resultados experimentales para 22 instancias de prueba, el algoritmo mejoró 12 soluciones mejores conocidas (BKS), 4 soluciones son iguales que sus BKS, 4 soluciones tienen una aproximación por debajo del 3 % del BKS, y las últimas 2 últimas instancias tienen una aproximación por arriba del 3 %.

## Referencias

Bektas, T. The multiple traveling salesman problem: an overview of formulations and solution procedures. *Omega*, 34: 209–219, 2006.

Cheikhrouhou, O. y Khoufi, I. A comprehensive survey on the Multiple Traveling Salesman Problem: Applications, approaches and taxonomy. In *Comput. Sci. Rev.* 40:100369 2021

Pacheco-Valencia, V.; Vakhania, N.; Hernández, J. A. y Hernández-Gómez, J.C.; A Fast Algorithm for Euclidean Bounded Single-Depot Multiple Traveling Salesman Problem. In *Proceedings of the 1st Online Conference on Algorithms*, 27 September - 10 October 2021, MDPI: Basel, Switzerland, <https://sciforum.net/manuscripts/10898/manuscript.pdf>

Pacheco-Valencia, V.; Hernández, J. A.; Sigarreta, J. M. y Vakhania, N.; Simple Constructive, Insertion, and Improvement Heuristics Based on the Girding Polygon for the Euclidean Traveling Salesman Problem. In *Algorithms* 2020, 13(1), 5.



# Integración del enfoque de sostenibilidad y la selección de proveedores en la planeación agregada de la producción mediante la programación multiobjetivo

Marco Antonio Montufar Benítez, 1\* y Yoelvis Prida Galindo 2

1 Área Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.

2 Área Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.

\* Correo electrónico: montufar@uaeh.edu.mx

**Palabras claves** — Planeación, Producción, Programación multiobjetivo, Planeación agregada, Sostenibilidad

Garantizar el desarrollo sostenido sin poner en peligro la subsistencia de la vida, destaca como el compromiso principal de las generaciones actuales con las futuras. En un entorno cada vez más globalizado, la toma de conciencia de dicho compromiso emerge como una necesidad a partir de la adopción de medidas encaminadas a la preservación del planeta. En este sentido, es importante que las empresas incorporen este enfoque en su gestión de la producción; la planeación agregada puede ser un punto de partida para lograr este objetivo pues existe un aumento significativo en la cantidad de investigaciones realizadas en este campo, lo que ha llevado a la publicación de numerosos artículos de alta calidad sobre el tema (Roldan-Suares y Camacho-Vargas, 2017) La sostenibilidad implica no sólo la eficiencia económica, es la intersección de tres esferas: económica, social y ambiental, conocidas como "Triple Bottom Line" o "Triple Cuenta de Resultados" (Elkington, 2018). De este modo, la planeación agregada puede ser sostenible si se consideran criterios sociales y ambientales en la toma de decisiones, por ejemplo, al evaluar la necesidad de recursos naturales y energéticos para el proceso de producción, la huella de carbono de la empresa, la seguridad y salud de los trabajadores, entre otros aspectos. En esta investigación se incorpora el enfoque de sostenibilidad en la planeación agregada de la producción, específicamente en la selección de los proveedores de unidades subcontratadas para satisfacer la demanda. Adicional al enfoque tradicional de minimizar los costos totales generados por la producción de bienes y algunos más como los generados por el almacenaje, tiempo extra, etc. en la planeación agregada, se incorpora los objetivos de minimizar el impacto ambiental al seleccionar diferentes proveedores cuyos productos tienen diferentes propiedades de impacto ecológico. Se evalúa el empleo de la programación multiobjetivo, por su utilidad para optimizar múltiples metas o criterios al mismo tiempo en un problema dado (Rardin, 2015). Como resultado, y considerando las propuestas de Malakooti (2014), se diseña un modelo matemático de programación multiobjetivo para la Planeación Agregada de la Producción capaz de minimizar costos y el impacto ambiental medido por el consumo de energía, huella de carbono y huella hídrica. Por último, se sugiere el empleo de técnicas para dar solución a este tipo de problemas y se recomienda el uso y aplicación del software Lingo para encontrar las fronteras de Pareto.

## Referencias

Elkington, J. (2018). *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business*. Routledge

.Malakooti, B. (2014). *Operations and production systems with multiple objectives*. John Wiley & Sons

Rardin, R. L. (2015). *Optimization in operations research*. Second Edition. Pearson.

Roldan-Suares, C., y Camacho-Vargas, J. A. (2017). *Planeación agregada de la producción en el sector de manufactura. una revisión del estado de arte*. Universidad Cooperativa de Colombia. Facultad de Ingeniería. Ingeniería Industrial. Bogotá





# Optimization economic dispatch problem integrating renewable energies and storage employing a mathematical programing model

## Problema de optimización del despacho económico integrando energías renovables y almacenamiento empleando un modelo de programación matemática

Hertwin Minor-Popocatl, 1\* y Omar Aguilar-Mejía<sup>1</sup> y José Abel Bañuelos-Teres<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Decanato de Ingeniería y Negocios (Posgrado), Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, Puebla.

\* Correo electrónico: hertwin.minor@upaep.mx

**Palabras claves** — Microgrid, Mathematical Programming, Renewable Energy.

The trend in the development of microgrids consists of integrating renewable energy resources, controllable loads and energy storage systems, in a more economical and reliable way. Electric energy storage systems consist of batteries that are essential to compensate for the uncertainties that may arise in the operation of the microgrid. This paper presents a proposal with a mathematical programming approach that manages multiple sources of distributed generation that present the microgrid over different periods of time, through the economic dispatch approach to minimize operating costs. The mathematical model considers the following variables: a) conventional generators, b) renewable energy sources, c) bonus program for electricity demand response, d) application of environmental contingency; and d) a battery energy storage system, which intervenes in the operation of the system, considering the strategy of attending to demand and seeking to reduce costs. The proposed algorithm contemplates a program of benefits for customers by reducing their demand and considers the costs of regeneration of pollutants produced by conventional energy sources. In addition, the analysis includes the benefit of reducing the use of conventional sources of electrical energy, complying with a set of restrictions of the proposal. To establish the validity of the approach, a case study is implemented that includes a combination of renewable energy sources backed by the conventional electricity main grid and the use of batteries to satisfy electricity demand. The proposal is implemented in Lingo 17.0 and the simulation results show the feasibility of the proposal through the optimal configuration of the microgrid.

La tendencia en el desarrollo de micro redes consiste en integrar recursos energéticos renovables, cargas controlables y sistemas de almacenamiento de energía, de la forma más económica y confiable. Los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica consisten en baterías que son fundamentales para compensar las incertidumbres que puedan surgir en el funcionamiento de la microrred. En este trabajo se presenta una propuesta con enfoque de programación matemática que gestiona múltiples fuentes de generación distribuida que presenta la micro red en diferentes periodos de tiempo, mediante el enfoque de despacho económico para minimizar los costos de operación. El modelo matemático considera las siguientes variables: a) generadores convencionales, b) fuentes de energía renovables, c) programa de bonificación por respuesta a la demanda eléctrica, d) aplicación de contingencia ambiental; y d) un sistema de almacenamiento de energía en baterías, que interviene en la operación del sistema, considerando la estrategia de atender la demanda y buscando la reducción de costos. El algoritmo propuesto contempla un programa de beneficios para los clientes al reducir su demanda y considera los costos de regeneración de contaminantes producidos por fuentes de energía convencionales. Además, el análisis incluye el beneficio de reducir el uso de fuentes convencionales de energía eléctrica, cumpliendo con un conjunto de restricciones de la propuesta. Para establecer la validez del enfoque, se implementa un estudio de caso que incluye una combinación de fuentes de energía renovable respaldadas por la red eléctrica principal convencional y el uso de baterías para satisfacer la demanda de electricidad. La propuesta está implementada en Lingo 17.0 y los resultados de la simulación muestran la factibilidad de la propuesta a través de la configuración óptima de la micro-red.





## Referencias

R. H. Lasseter, "Microgrids and distributed generation" *Journal of Energy Engineering*, vol. 133, 2007, pp.144-149.

Hongbin Wu, Xingyue Liu, Ming Ding "Dynamic economic dispatch of a microgrid: Mathematical models and solution algorithm" *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 63, 2014, pp. 336-346.

Calderaro V, G.Conio, V. Galdi, G. Massa, A Piccolo. "Active management of renewable energy sources for maximizing power production" *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Volume 57, 2014, pp. 64-72.

Hamid Karimi, Shahram Jadid "Optimal energy management for multi-microgrid considering demand response programs: A stochastic multi-objective framework" *Energy*, vol. 195, 2020, 116992.

Liu Xiaoping, Ding Ming; Han Jianghong; Han Pingping; Peng Yali "Dynamic Economic Dispatch for Microgrids Including Battery Energy Storage", *The 2nd International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems*, 2010, pp. 914-917.

W. Zheng, W. Wu, B. Zhang, H. Sun, Qinglai Guo and Chenhui Lin, "Dynamic economic dispatch for microgrids: A fully distributed approach," *2016 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D)*, 2016, pp. 1-3.

Hamid RezaAbdolmohammadi, AhadKazem "A Benders decomposition approach for a combined heat and power economic dispatch," *Energy Conversion and Management*, vol. 71, 2013, pp. 21-31.

A. Sashirekha, J. Pasupuleti, N.H. Moin, C.S. Tan, "Combined heat and power (CHP) economic dispatch solved using Lagrangian relaxation with surrogate subgradient multiplier updates," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 44, 2013, pp. 421-430.

Farhad Nazari-Heris, Behnam Mohammadi-ivatloo, D. Nazarpour, "Network constrained economic dispatch of renewable energy and CHP based microgrids," *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 110, 2019, pp. 144-160.

Mehrdad Ghahramani, Morteza Nazari-Heris, Kazem Zare, Behnam Mohammadi-Ivatloo, "Energy and reserve management of a smart distribution system by incorporating responsive-loads /battery/wind turbines considering uncertain parameters," *Energy*, vol. 183, 2019, pp. 205-219.

Nnamdi I. Nwulu, Xiaohua Xia, "Optimal dispatch for a microgrid incorporating renewables and demand response," *Energy*, vol. 101, 2017, pp. 16-28.

J. Driesen and F. Katiraei, "Design for distributed energy resources" *IEEE Power Energy Magazine*, vol. 3, 2008, pp. 30-40.

Xia, X., Elaiw, A, "Optimal dynamic economic dispatch of generation: A review," *Electric Power Systems*, vol. 80, 2010, pp. 975- 986.

S. Jayashree and K. Malarvizhi, "Methodologies for Optimal Sizing of Battery Energy Storage in Microgrids: A Comprehensive Review," *2020 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)*, 2020, pp. 1-5



# ¿Cuánto comprar y cómo cortar? Un modelo de programación dinámica para optimizar el control de inventario de una compañía de muebles

Edgar Possani,<sup>1</sup> \* y Marta Cabo Nodar<sup>1</sup> \* \*

<sup>1</sup>Departamento Académico de Matemáticas, ITAM, Ciudad de México.

\* Email address: epossani@itam.mx \* \* Email address: martacabo@itam.mx

**Palabras claves** — programación dinámica, control de inventario, corte y empacamiento

Presentaremos un modelo de programación dinámica que optimiza las decisiones de corte y control de inventario en una fábrica de muebles. La materia prima principal son tableros de conglomerado sobre el cuál se cortan las diferentes piezas que forman los muebles. Estos tableros pueden presentar defectos que hay que evitar a la hora de cortar las piezas y tienen una vida útil limitada en el tiempo. Las decisiones que enfrenta la compañía, en base al inventario actual en fábrica, son: cuántos tableros pedir, cómo cortar las piezas sobre el tablero, y qué tableros del inventario utilizar. La literatura de corte y empacamiento se ha centrado en la disposición de las piezas a cortar, y poco en el impacto que tiene el control de inventario en los costos de producción. De allí la novedad del modelo propuesta para analizar estas decisiones en conjunto. En cada periodo  $j$  se optimiza el número de tableros que deben ordenarse ( $q$ ) sabiendo que se tiene  $x_j = (x_{j1}, \dots, x_{jk})$  inventario, donde  $x_{ji}$  representa la cantidad de tableros de edad  $i$  almacenada al inicio del periodo  $j$ . La función objetivo  $f_j(x_j)$  es el coste mínimo esperado desde el periodo  $j$  hasta el periodo  $N$  dado un nivel de inventario  $x_j$ . Si consideramos  $r_i$  el coste de deshacernos de los tableros sobrante al final del periodo  $N$ , tenemos:  $f_{N+1}(x_{N+1}) = \sum_{i=1}^k r_i x_{N+1,i}$  es el coste total del inventario sobrante al final del periodo de planeación. El costo de compra lo calculamos como:

$$P_j(q, \mathbf{x}_j) = \begin{cases} C \cdot q + h \sum_{i=1}^k x_i^j & \text{if } q + \sum_{i=1}^k x_i^j \geq \Gamma_j^{(uv)} \\ \infty & \text{otherwise} \end{cases}$$

donde  $C$  es el coste de compra,  $h$  el coste de almacenaje y  $\Gamma_j^{(uv)}$  el total de tableros que se necesitan cortar para satisfacer la demanda de muebles de ese periodo con la política de despacho  $u$  y la de corte  $v$ , con un costo infinito si no se compra suficiente para satisfacer la demanda. El modelo de programación dinámica que minimiza el coste esperado viene dado por la siguiente ecuación de Bellman:

$$f_j(\mathbf{x}_j) = \min_q \mathbb{E}_S \left[ P_j(q, \mathbf{x}_j) + f_{j+1} \left( q - y_0^{(uv)j}, x_1^j - y_1^{(uv)j}, \dots, x_{k-1}^j - y_{k-1}^{(uv)j} \right) \right]$$

donde  $\delta_i$  y  $k_u$  es el número de tableros de edad  $i$  que se cortan bajo la política de corte  $k$  y regla de despacho  $u$ . Notemos que  $\mathbb{E}_S$  es la esperanza sobre varias muestras del universo  $S$  de posibles órdenes. Para comparar las diferentes políticas  $u$  y  $k$  podemos fijarnos en  $f_1(0, 0, 0)$  el costo total esperado para los  $N$  periodos si se empieza con ningún tablero al inicio del periodo 1. Para cortar las piezas de un mueble sobre los tableros, hemos implementado una heurística que maximiza el espacio residual basada en Wang and Chen (2015), considerando a los defectos como piezas ya colocadas en el tablero y así evitar usar ese espacio. Una de las principales fuentes de incertidumbre es justo la posición de los defectos en los tableros.





Presentaremos resultados sobre una variedad de escenarios con diferentes costos, demanda, y calidad de los tableros (en función del área útil dejada por los posibles defectos del tablero). El modelo obtiene las decisiones óptimas para un nivel de inventario específico, en general sugiere una producción ajustada (just-in-time). Realizamos algunas simulaciones para ver la ventajas de usar la programación dinámica en lugar de las prácticas actuales. Entre los resultados interesante está el hecho de que la calidad de los tableros se vuelve más importante que la edad de los mismos cuando se utilizan políticas de corte donde se planea el corte de todas las piezas independiente del mueble al que pertenecen.

### **Referencias**

Y. Wang y L. Chen. Two-dimensional residual-space-maximized packing. *Expert Systems with Applications*, 42: 3297–3305, 2015.

R. Haijema. Optimal ordering, issuance and disposal policies for inventory management of perishable products. *International Journal of Production Economics*, 157: 158-169, 2014.



# Planeación del transporte urbano enfocada a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero

Paulina A. Avila-Torres

Universidad de las Américas Puebla, San Andrés Cholula, Puebla

Correo electrónico: paulina.avila@udlap.mx

**Palabras claves** — Transporte urbano, Efecto invernadero, Programación lineal

El proceso de planeación del transporte urbano se divide en diseño de la red, tabla de tiempos, programación de vehículos y programación de personal. El objetivo principal de la planeación del transporte público es ofrecer a la población un servicio de calidad que permita a los pasajeros viajar fácil y rápidamente a una baja tarifa. Además, las agencias de transporte público desean realizar la operación al menor costo; también tienen una misión social, reducir la contaminación y el tráfico [1].

El 92% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en México provienen del transporte terrestre [2], y una buena planeación del transporte urbano puede contribuir a reducir la emisión de gases. Existen en la literatura diversos métodos para medir la emisión de gases, basados en modelos de escenarios de transporte de energía.

El modelo de emisiones de vehículos es el que se utilizará en este trabajo, se basa en el consumo promedio de gas, distancia recorrida y el promedio de pasajeros [4].

En este trabajo proponemos un modelo de programación lineal entera mixta para el problema de tabla de tiempos, con el objetivo de minimizar las emisiones de gases y minimizar el tiempo de espera. El modelo debe cumplir con una frecuencia mínima la cual se considera difusa triangular para la cual se implementa el método  $\infty$ -cut. Además, las salidas programadas deben cumplir con un determinado tiempo de cabecera.

Para dar solución al modelo propuesto, se utilizó un SAUGMECON [3] bi-objetivo implementado en CPLEX y se probó la efectividad del modelo con un conjunto de instancias generadas aleatoriamente.

## Referencias

1. Desaulniers, G. y Hickman, M. D., (Capítulo 2 Public Transit), en Transportation, tomo 14, Elsevier, pag. 69-127, 2007.
2. Juan Carlos Solís y Claudia Sheinbaum, "Energy consumption and greenhouse gas emission trends in Mexican road transport", Energy for sustainable development 17 (2013), pag. 280-287.
3. Zhao, F. y Zeng, X., "Optimization of transit route network, vehicle headways and timetables for large-scale transit networks", European Journal of Operational Research, 186(2), pag. 841-855, 2008.
4. Seyed Amir H. Zahabi, Luis F. Miranda-Moreno, Zachary Patterson y Philippe Barla, "Urban transportation greenhouse gas emissions and their link with urban form, transit accessibility, and emerging green technologies", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2375, pag. 45-54.



# Modelo para la planificación de unidades médicas en el Estado de Guanajuato.

Park Michael Jinwoo, \* y Rodolfo Mendoza-Gómez

Ingeniería Industrial y de Sistemas, Instituto Tecnológico de Monterrey

\*Correo electrónico: businessjinwoo01@gmail.com

**Palabras claves** — Optimización, Servicios de Salud, Localización de Instalaciones, Programación Entera

El estado de Guanajuato de 2016 a 2020 ha presentado un aumento de personas que se encuentran en pobreza, de acuerdo con CONEVAL. Esto implica que la demanda de servicios médicos públicos ha tenido un incremento significativo en los últimos años. Es por ello que se requiere proveer servicios de calidad en los 46 municipios y más de 630 unidades médicas que existen en el estado. Para mejorar la calidad, aumentar el acceso y cobertura de los servicios médicos es necesario contar una planificación de la infraestructura en servicios de salud con herramientas sistemáticas que puedan maximizar el impacto de las decisiones en beneficio a la sociedad. En esta investigación se hace un análisis de las condiciones actuales del sistema de salud en el estado y se propone un modelo de optimización para la localización de nuevas unidades médicas, tomando en cuenta la demanda y la capacidad de los servicios. Este modelo se aplicó en el caso de estudio del estado de Guanajuato utilizando Cplex para resolver de forma exacta el problema. Los resultados preliminares indican el potencial beneficio del uso de esta herramienta para la toma de decisiones.



# Un algoritmo VNS para resolver un problema de enrutamiento de vehículos capacitados con un centro de servicio para el sector minorista

Irma-Delia Rojas-Cuevas<sup>1\*</sup>, Elías Olivares-Benitez<sup>2</sup>, Samuel Nucamendi-Guillén

<sup>1</sup>Dpto. de Ingenierías, Tecnológico Nacional de México /Instituto Tecnológico de Puebla, Puebla, Puebla.

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Panamericana, Guadalajara, Jalisco.

\*irma.rojas@puebla.tecnm.mx

**Palabras claves** — Enrutamiento vehicular, recolección y entrega de productos, reparación, VNS

## Resumen

Algunos problemas de distribución requieren integrar la entrega de productos y la recolección para su reparación en un centro de servicio que no está ubicado en el mismo lugar que el almacén. Este documento propone un modelo de Problema de enrutamiento de vehículos capacitados con centro de servicio (CVRPwSC) para encontrar la mejor ruta entre el cliente, el almacén y el centro de servicio. Este modelo considera el escenario de distribución en el que una flota de vehículos sale de un depósito, distribuye productos a un grupo de clientes y recoge productos dañados de algunos clientes para su reparación. Cuando el vehículo visita a un cliente para recoger productos dañados, el vehículo se ve obligado a detenerse en el Centro de Servicio antes de regresar al depósito; de lo contrario, vuelve directamente al depósito. Se utilizó el software AMPL-Gurobi para resolver el modelo en varias instancias adaptadas CVRP de prueba. Además, se resolvió un problema real con este modelo. Se desarrolló un algoritmo de Búsqueda de Vecindario Variable (VNS) y se compararon los resultados obtenidos con la solución del modelo utilizando AMPL-Gurobi. Los resultados mostraron que la planificación de rutas utilizando el modelo CVRPwSC describió con precisión el flujo de la red de distribución de la instancia del caso de estudio y redujo 40% los costos de combustible. El algoritmo VNS fue capaz de obtener soluciones de buena calidad en tiempo razonable.



# Una aplicación de un problema de secuenciamiento de tareas

A. Sifuentes<sup>1</sup>, I. D. García Calvillo<sup>2</sup>, E. Reséndiz<sup>1</sup>, E. Ruíz<sup>1</sup>, V. Avalos<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> División de Estudios de Posgrado, Instituto Tecnológico de Saltillo, Tec NM.

<sup>2</sup> Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas, Universidad Autónoma de Coahuila.

\* Correo electrónico: vanesaavalos@uadec.edu.mx

**Palabras claves** — Flexible Job Scheduling Problem; Makespan; Aplicación Industrial

En las empresas manufactureras intervienen una gran cantidad de factores que afectan la rentabilidad económica, como la cantidad de inventarios en los almacenes, distancias excesivas entre las operaciones de las líneas de producción, altos tiempos de traslado de los productos, utilización innecesaria de los recursos humanos y mecánicos, entre otras. Por estas razones se ha detectado la necesidad de encontrar una solución para contrarrestar tales inconvenientes, con el objetivo de contribuir al mejoramiento de la economía empresarial.

En este trabajo se presenta un caso de éxito del problema de secuenciamiento de tareas en una aplicación industrial dentro de una empresa metalmeccánica del norte de México. La empresa se dedica a la manufactura de pernos de seguridad para cargadoras y partes metalmeccánicas, se detecta que el tiempo de fabricación de uno de sus productos es muy alto, incurriendo en el pago de horas extra de trabajadores para cumplir con la demanda comprometida. El proceso de fabricación de la pieza involucra operaciones internas que necesitan ser completadas para poder continuar con la secuencia de las tareas, además de contar con un proceso externo de recubrimiento que no puede ser controlado por la empresa. Estos factores repercuten en el tiempo de entrega de las piezas cuando la demanda crece debido a la poca flexibilidad en la planeación y programación de la producción.

El problema es modelado como un Flexible Job Scheduling Problem (FJSP), el cual es un problema de optimización combinatoria catalogado como NP-hard. La problemática consiste en minimizar el tiempo total de terminación (makespan) de todos los trabajos involucrados en la fabricación de uno de los productos de la empresa, así, los trabajos que se deben procesar pueden asignarse a cualquier máquina del conjunto de máquinas establecido. Se mostrarán las características y restricciones particulares del problema, para encontrar una asignación óptima que minimice el tiempo total de terminación de todos los trabajos (makespan). Se considera un modelo de la literatura y una heurística para la obtención de resultados computacionales con instancias pseudorreales con datos obtenidos de los registros de la empresa.

## Referencias

Fattahi, P., Mehrabad, M., Jolai, F.: Mathematical modeling and heuristic approaches to flexible job shop scheduling problems. *J. Intell. Manuf.* 18: 331–342, 2007.

Birgin, E.G., Feofiloff, P., Fernandes, C.G., de Melo, E.L., Oshiro, M.T, Ronconi, D.P. A MILP model for an extended version of the Flexible Job Shop Problem. *Optimization Letters*, 8: 1417–1431, 2014





# Modelos de predicción de evacuación ante inundaciones en el Estado de México

Gaston Vertiz Camron, 1\*, Ma. De Lourdes Najera López1, José Concepción López Rivera1, Álvaro Nosedal Sánchez2

1Dpto. de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México, México.

2Department of Mathematical and Computational Sciences, University of Toronto Mississauga, Toronto, Canadá.

\* Correo electrónico: gvertizc@uaemex.mx

**Palabras claves** — Modelos de predicción, inundación, evacuación, regresión logística

En las últimas décadas ha surgido un crecimiento en el proceso de urbanización en el Estado de México, por lo que la concentración de la población en un espacio reducido ha provocado que los servicios urbanos como el drenaje de aguas pluviales sea deficiente ante eventos hidrometeorológicos extremos. En este contexto, surge el problema de inundaciones en zonas urbanas cada vez con mayor frecuencia e intensidad, ocasionando impactos negativos en varios municipios. Cabe señalar que las inundaciones no sólo destacan por el fenómeno hidrometeorológico, sino también por la falta de planeación urbana, en donde los asentamientos humanos ocurren de forma irregular.

Con el propósito de proteger la integridad física de los ciudadanos de los municipios del estado, el presente trabajo genera modelos de predicción considerando el comportamiento de la comunidad, con la finalidad de apoyar a las autoridades con un instrumento que permita evaluar el número de personas que responderán a los avisos y alertas emitidas y así, mitigar los daños sociales y económicos. Cabe señalar que se identificó como un factor primordial la decisión de cada ciudadano para evacuar a tiempo y que depende de factores demográficos, psicológicos y culturales. De esta manera, será posible diseñar planes de evacuación para diferentes tipos de poblaciones, una vez que se haya detectado la sensibilidad de la región, para lograr una mayor percepción y mejor comportamiento ante las alertas que emitan las autoridades.

Con el diseño, la aplicación de una encuesta en línea y considerando algunos factores ubicados en la literatura, se solicitó a la población del Estado de México que la respondiera, en respuesta a ello, se obtuvieron 411 ciudadanos que atendieron esta petición. Luego esta muestra se dividió en dos grupos de la forma siguiente: en el grupo 1 (modelo 1) y grupo 2 (modelo2). El grupo 1, se ubicaron a las personas que no habían tenido alguna experiencia previa de vivir algún fenómeno de inundación; mientras que en el grupo 2, se ubicaron a las personas que ya habían tenido alguna experiencia previa de vivir algún fenómeno de inundación.

Según resultados de la encuesta, la mayor cantidad de personas que respondieron la encuesta, fueron aquellas que radican en los municipios de Ecatepec y Nezahualcóyotl. Posteriormente las personas agrupadas en el modelo 1, se hizo una sub-clasificación de la manera siguiente: personas que respondieron el municipio de Nezahualcóyotl y que no han vivido una experiencia previa de inundación (modelo 3), personas que respondieron del municipio de Ecatepec y que no han vivido una experiencia previa de inundación (modelo 4) y personas que respondieron de otros municipios y que no han vivido una experiencia previa de inundación (modelo 5). En el modelo 2, también se una sub-clasificación como la del modelo 1; es decir, personas que respondieron del municipio de Nezahualcóyotl y que han vivido una experiencia previa de inundación (modelo 6), persona que respondieron el municipio de Ecatepec y que han vivido una experiencia previa de inundación (modelo 7) y personas que respondieron de otros municipios que han vivido una experiencia previa de inundación (modelo 8).





Se llevó a cabo una codificación de las respuestas, en cuanto a si las personas que respondieron la encuesta han vivido una experiencia previa (Si = 1) o no (No = 0). Luego, se llevó a cabo una partición del conjunto en 8 sub-conjuntos, según como ya se mencionó. Posteriormente se llevó a cabo un muestreo aleatorio sobre el 70% de los datos para el modelado, y evaluación de las variables, se emplearon diversas herramientas disponibles en R, de hecho, se hizo un ajuste a un modelo de regresión logística para permitir distinguir la relevancia real de cada uno de los factores de evaluación, debido a que dichos factores que se identifican, son los atributos que podrán ser empleados para informar a un modelo donde se incorpore la información de la población y de esta forma se podría estimar la cantidad de personas que se va a evacuar por distritos o colonias dentro de una zona de interés. Dicho modelo de regresión es un proxy que se empleará para determinar si en un hogar o conjunto de hogares decidirán o no evacuar en el caso de una alerta emitida ante la amenaza de una inundación; y que mediante el uso de ISLR (la documentación de este paquete está disponible en <https://rdocumentation.org/packages/ISLR/versions/1.4>). Para llevar a cabo la evaluación del ajuste, se usó la métrica de McFadden (para la determinación de los valores de las Pseudo R<sup>2</sup>), para llevar a cabo el cálculo de estos valores se empleó el paquete pscl (documentación disponible en <https://rdocumentation.org/packages/pscl/versions/1.5.5.1>) que ayuda. Además, se llevó a cabo la evaluación de la relevancia de cada variable a partir de los valores y modelo construidos y evaluados, dicho análisis se completó mediante el uso caret (las distintas funciones disponibles se pueden revisar en <https://rdocumentation.org/packages/caret/versions/6.0-94>). Finalmente se determinó que el modelo 2 y el modelo 8 son válidos, mientras que el resto, se descartan para su validez, la razón es precisamente a la falta de datos para ajustar un modelo, o bien debido a que las variables no permiten construir un modelo con capacidad predictiva.

## Referencias

- A. Pan, "Study on the decision-making behavior of evacuation for coastal residents under typhoon storm surge disaster," *International journal of disaster risk reduction*, vol. 45, p. 101522, 2020.
- V. F. Grasso and A. Singh, "Early warning systems: State-of-art analysis and future directions," *Draft report, UNEP*, vol. 1, 2011.
- J. K. Lazo, D. M. Waldman, B. H. Morrow, and J. A. Thacher, "Household evacuation decision making and the benefits of improved hurricane forecasting: Developing a framework for assessment," *Weather and Forecasting*, vol. 25, pp. 207-219, 2010.
- J. Czajkowski, "Is it time to go yet? Understanding household hurricane evacuation decisions from a dynamic perspective," *Natural Hazards Review*, vol. 12, pp. 72-84, 2011.
- M. T. Sarwar, P. C. Anastasopoulos, S. V. Ukkusuri, P. Murray-Tuite, and F. L. Mannering, "A statistical analysis of the dynamics of household hurricane-evacuation decisions," *Transportation*, vol. 45, pp. 51-70, 2018.
- S. D. Wong, A. J. Pel, S. A. Shaheen, and C. G. Chorus, "Fleeing from hurricane Irma: Empirical analysis of evacuation behavior using discrete choice theory," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 79, p. 102227, 2020.
- J. K. Lazo, A. Bostrom, R. E. Morss, J. L. Demuth, and H. Lazrus, "Factors affecting hurricane evacuation intentions," *Risk analysis*, vol. 35, pp. 1837-1857, 2015.
- M. A. Ahmed, A. M. Sadri, and M. Hadi, "Modeling social network influence on hurricane evacuation decision consistency and sharing capacity," *Transportation research interdisciplinary perspectives*, vol. 7, p. 100180, 2020.





A. S. Goodie, A. R. Sankar, and P. Doshi, "Experience, risk, warnings, and demographics: Predictors of evacuation decisions in Hurricanes Harvey and Irma," *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 41, p. 101320, 2019.

J. M. Bateman and B. Edwards, "Gender and evacuation: A closer look at why women are more likely to evacuate for hurricanes," *Natural Hazards Review*, vol. 3, pp. 107-117, 2002.

C. H. Gladwin, H. Gladwin, and W. G. Peacock, "Modeling Hurricane Evacuation Decisions with Ethnographic Methods," *International Journal of Mass Emergencies & Disasters*, vol. 19, pp. 117-143, 2001.

F. Bu and Q. Xie, "Research on emergency evacuation traffic trip generation forecasting based on Logistic regression," in *2010 IEEE International Conference on Emergency Management and Management Sciences*, 2010, pp. 504-507.

J. Sánchez, J. Marcos, M. De la Fuente, and A. Castro, "A logistic regression model applied to short term forecast of hail risk," *Physics and Chemistry of the Earth*, vol. 23, pp. 645-648, 1998.

E. W. Steyerberg, M. J. Eijkemans, F. E. Harrell Jr, and J. D. F. Habbema, "Prognostic modelling with logistic regression analysis: a comparison of selection and estimation methods in small data sets," *Statistics in medicine*, vol. 19, pp. 1059-1079, 2000.

T. Phiophuead and N. Kunsuwan, "Logistic regression analysis of factors affecting travel mode choice for disaster evacuation," *Engineering Journal*, vol. 23, pp. 399-417, 2019



# Un nuevo algoritmo para optimización multi-objetivo

Carlos O. Flor-Sánchez,<sup>1\*</sup> y Edgar O. Reséndiz-Flores<sup>1</sup> y Irma D. García-Calvillo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/IT Saltillo, Saltillo, Coahuila.

<sup>2</sup>Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas, Universidad Autónoma de Coahuila, Prolongación David Berlanga, Edificio S, Primer Piso, Camporredondo, C.P. 25115, Saltillo, Coahuila, México

\* Correo electrónico: cosvaldoflor@gmail.com

**Palabras claves** — Optimización Multi-objetivo, Aproximación de Gradiente, Algoritmos Meméticos

Un nuevo algoritmo memético denominado Algoritmo de Optimización Multi-objetivo Híbrido Basado en Kernel (KHMO-Kernel-ased Hybrid Multi-Objective Optimization Algorithm) es presentado. La principal novedad de este algoritmo es que su regla de actualización está basada en el concepto de un Kernel reproductor para aproximar el gradiente numérico. Además, también se presenta por primera vez una estrategia numérica novedosa basada en el cálculo de un vector normal para determinar una dirección de búsqueda que guíe las soluciones no-dominadas hacia regiones más prometedoras. Las métricas IGD y HV se utilizan para evaluar el rendimiento del algoritmo KHMO frente a otros métodos multi-objetivo competitivos, como MRBFO, FDEA-I, VMEF, BiasMOSaDE y GAMODE, y son probados en los problemas ZDT y CEC 2009. Además, se realiza la prueba de Wilcoxon como análisis estadístico comparativo para detectar si existe una diferencia significativa con respecto al resto de algoritmos. Los resultados numéricos correspondientes mostraron que el algoritmo KHMO propuesto obtiene el mejor rendimiento en general entre todos los algoritmos comparados en términos de diversidad, cobertura y convergencia en la mayoría de los problemas. Además, las curvas IGD y HV revelan una tasa de convergencia respetable ya que casi 200 iteraciones son suficientes para ofrecer soluciones de calidad.



# Multi stakeholder optimisation model for the academic timetabling problem

Federico Trigos\* and Roberto Coronel

1Tecnologico de Monterrey, EGADE Business School

\* E-mail: ftrigos@tec.mx

**Key Words** — Academic Timetabling, Mixed Integer Linear Programming, Optimisation

Timetabling, as defined by Wren (1995), is allocating resources to specific objects in time and space. Burke et al. (2004) expanded this to include time, resources, meetings, and constraints as critical elements of the problem. Timetabling is widely applied in various domains, such as education, transportation, employee scheduling, sports, and healthcare (Nurmi and Kyngäs 2008). Particularly in Higher Education Institutions (HEIs), academic timetabling is a crucial, time-consuming task recurrently executed every academic period. The quality of academic timetabling directly influences a range of stakeholders in HEIs, including professors, students, administrators, and governance bodies (Sabin, G. C. W., & Winter, G. K. 1986). While existing research often falls into two categories - case studies and solver papers - it primarily focuses on simplified, smaller-scale issues. However, there is a significant gap in the literature regarding applying these methods to complex, large-scale academic timetabling problems in their real-world context (Kingston, J. H. 2019). This complexity presents challenges yet to be thoroughly explored and addressed in existing studies.

The authors depart from the traditionally dichotomous approach of case studies and solver papers in academic timetabling research methods; with some adjustments, their model can be implemented in real scenarios with tangible complexities. The focus is not to propose a better mathematical solution but to introduce a model capable of addressing the multifaceted challenges in real-life scenarios. This work seeks to fill this gap in the literature by presenting a unique variant of the academic timetabling problem through a transdisciplinary approach centred on maximizing the Expected Academic Performance (EAP) via a meticulously designed objective function to give specific weights to the different variables, to achieve maximum EAP. The timetabling optimisation model proposed in this study stands out for incorporating the EAP into the objective function. It goes beyond minimizing conflicts, like course clashes or instructor availability issues, or maximizing resource utilisation, like classroom usage or equipment allocation. The model seeks to optimize the educational experience and the performance of the students by considering constraints tied to student course enrolment, course prerequisites, classroom capacities, and professor teaching preferences.

The model objective function is designed to reflect the perspectives and needs of various stakeholders. It includes terms such as the professor's preference for the professor (i) teaching a specific course (j)  $PI_{i,j}$ , historical student appreciation of the professor teaching that course ( $SA_{i,j}$ ), and the institution's validation of the professor teaching the course ( $IA_{i,j}$ ). Weightings are also considered for professor and student preferences, denoted as WP and WS, respectively, adding up to one; This allows the model to factor in the needs and feedback from both parties, leading to a balanced solution. The expected academic performance ( $EAP_{i,j}$ ) for assigning professor i to course j is then calculated as  $EAP_{i,j} = (WP PI_{i,j} + WS SA_{i,j}) IA_{i,j}$ , reflecting the balanced consideration of all stakeholders' interests.





This approach, considering stakeholders, moves beyond the pursuit of operational efficiency and promotes that the institution's academic requirements and the stakeholders' needs (students, professors, institution authorities and assessment bodies) are balanced and respected. The objective function maximises the sum of all EAP timetable assignments during the academic period, creating a multi-stakeholder proposal that can be customized to different institutions and assessment systems. The model promotes a comprehensive and inclusive decision-making process that balances operational efficiency with stakeholder satisfaction.

This research highlights the power of the multi-stakeholder approach to address real scale scheduling challenges, providing a foundation for future studies and practical tools for HEIs. An actual size functional problem is presented for illustration purposes. The deterministic model involved was solved using optimal methods in efficient time; this may not be the case for everyone. Future research could broaden this approach by incorporating stochastic variables for demand variability, budgetary constraints, spatial logistics, and detailed analysis overlaps for better resource utilisation and course flexibility. This work encourages practitioners to adjust and apply the model to their unique situations, enhancing the robustness and versatility of academic timetabling.

### References

Wren, A. (1995). Scheduling, timetabling and rostering—a special relationship? Paper presented at the proceedings of the international conference on the practice and theory of automated timetabling (PATAT 1995), Heidelberg.

Burke, E. K., Kingston, J. H., & de Werra, D. (2004d). Applications to timetabling. In J. Gross & J. Yellen (Eds.), *The handbook of graph theory* (pp. 445–474).

Nurmi, K., & Kyngäs, J. (2008). A conversion scheme for turning a curriculum-based timetabling problem into a school timetabling problem. Paper presented at the Proceedings of the 7th international conference on the practice and theory of automated timetabling (PATAT 2008), Heidelberg.

Sabin, G. C. W., & Winter, G. K. (1986). The impact of automated timetabling on universities—a case study. *Journal of Operational Research Society*, 37, 689–693.

Kingston, J. H. (2019). *Timetabling Research: A Progress Report*. [patatconference.org](http://patatconference.org).



# Optimización bi-objetivo de una cadena de suministro verde agro-industrial mediante un MILP y un algoritmo metaheurístico multiarranque.

Maximiliano Ibarra Navarro,<sup>1\*</sup>, Yajaira Cardona Valdés<sup>1</sup>, Vanesa Avalos Gaytán<sup>1</sup> y Omar Ibarra Rojas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila.

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.

\* Correo electrónico: maximilianoibarrana@uadec.edu.mx

**Palabras claves** — Optimización bi-objetivo, cadena de suministro verde agro-industrial, MILP, algoritmo metaheurístico multiarranque

El problema de cadena de suministro implica el flujo de bienes y servicios a través de una red de distribución para satisfacer la demanda de los clientes. En la literatura se han realizado investigaciones que abordan múltiples objetivos, donde se conocen como cadenas de suministros verdes los que cuentan con objetivos económicos y ambientales. Este estudio se enfoca en un problema de cadena de suministro para el aprovechamiento de residuos agro-industriales con un diseño lineal de cuatro etapas: proveedores, centros de recolección, plantas y bodegas. El problema se considera determinista, con tipos de materia prima, transformación de productos, ubicación de instalaciones, tipos de transporte, periodos de tiempo, disponibilidad de materia prima y almacenamiento de productos.

El problema se modeló matemáticamente como un problema de programación lineal entera mixta (MILP) bi-objetivo para minimizar los costos totales de operación y las emisiones de CO<sub>2</sub> vehiculares, donde se determina el flujo de productos en cada nivel, el número y tipo de vehículos, las ubicaciones de los centros de recolección y las plantas, y resolver problemas de exceso y faltante de productos; utilizando el método de sumas ponderadas normalizadas.

Debido a la diversificación de las variables de decisión y la complejidad computacional, para reducir el tiempo de cómputo se implementó un algoritmo multiarranque, que consta de un algoritmo constructivo y un algoritmo de búsqueda local de primer mejora con limite de vecinos, considerando criterios bi-objetivos mediante sumas ponderadas.

Para la validación computacional con ambos enfoques se utilizó un conjunto de instancias aleatorias donde se varía la cantidad de proveedores, centros de recolección, plantas, bodegas, tamaños de apertura de los centros de recolección, tipos de materia prima, tipos de vehículos en cada nivel y periodos de tiempo. En esta presentación se mostrarán comparativas de los frentes de Pareto obtenidos por ambos métodos.



# Identificación de albergues de referencia y de respaldo para atender situaciones de emergencia considerando disponibilidad.

Pavel Albores<sup>1</sup> Juan A. Díaz,<sup>2\*</sup> Dolores E. Luna,<sup>3</sup> Sergio Picazo-Vela,<sup>4</sup> y Oscar Rodríguez-Espíndola<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Aston Business School, Aston University, Birmingham, UK.

<sup>2</sup>Dpto. de Actuaría, Física y Matemáticas, Universidad de las Américas Puebla, Puebla, Puebla.

<sup>3</sup>Dpto. de Ingeniería Industrial y Mecánica, Universidad de las Américas Puebla, Puebla, Puebla.

<sup>4</sup>Dpto. de Mercadotecnia, Universidad de las Américas Puebla, Puebla, Puebla.

\* Correo electrónico: juana.diaz@udlap.mx

**Palabras claves** — Localización de instalaciones, Logística humanitaria, Programación lineal entera mixta

De acuerdo a Nappi y Sauza. (2015) existe un reconocimiento internacional del aumento de la ocurrencia de desastres naturales y desastres provocados por el hombre, así como de su magnitud y del número de personas afectadas por los mismos. Es por esta razón que la atención a los problemas de logística humanitaria se ha incrementado en años recientes. En Negi y Negi (2021) se menciona que el ciclo de gestión de desastres de la logística humanitaria está formado por cuatro etapas:

- Mitigación. Etapa pre-desastre para evitar o disminuir el desastre y reducir los daños y pérdidas subsecuentes.
- Preparación. Desarrollo de estrategias y planes de acción para dar una respuesta efectiva después de la ocurrencia de algún desastre.
- Respuesta. Acciones que se llevan a cabo para proporcionar la ayuda necesaria en forma rápida y eficiente inmediatamente después de la ocurrencia de un desastre.
- Reconstrucción. Operaciones que se requieren posteriormente a la situación de emergencia para la reconstrucción de las infraestructuras dañadas y reducción a futuro de la vulnerabilidad

En este trabajo se propone estudiar la localización-asignación de albergues para atender a la población vulnerable en el caso de una situación de desastre.

La localización de albergues puede estudiarse desde dos puntos de vista pre-desastre o post-desastre (Caunhye et al. (2012)). En este estudio nos enfocamos en la etapa de preparación debido a que es muy importante diseñar la red física de instalaciones que pueden servir como refugios temporales para la población afectada. En particular, se estudia un problema de localización-asignación donde se considera la capacidad de los posibles albergues y situaciones donde estos pueden no estar disponibles una vez que ocurre el desastre, ya sea porque sean afectados por el desastre o por cualquier otra situación. Bajo esta perspectiva para cada punto de demanda se asigna un albergue de referencia (la primera opción para ubicar a la población afectada) y un albergue de respaldo (para reasignar al punto de demanda en el caso de que su albergue de referencia no esté disponible). Debido a la incertidumbre de estas situaciones, la información de cuáles albergues no estarán operativos después de la ocurrencia del desastre no se conoce con antelación. Por esta razón, un supuesto adicional es que la población asignada a estas ubicaciones no sabrá si su albergue de referencia está en operación hasta que llegue a él. En ese caso es necesario conocer con claridad el albergue de respaldo al que deben ser reubicados. Esta información será muy valiosa para la implementación de los planes de evacuación.

Este trabajo es una extensión del problema propuesto en Albareda et al. (2015) donde el número de localizaciones está predefinido y no se consideran restricciones de capacidad. En la situación que consideramos, los albergues son instalaciones públicas existentes como escuelas, auditorios, templos, etc., que tienen limitantes de capacidad y que únicamente se utilizarían de forma temporal para brindar los primeros servicios de auxilio a la comunidad afectada.







Se presentarán formulaciones del problema, resultados computacionales preliminares y el análisis de estos resultados para evaluar la pertinencia de las formulaciones propuestas.

### **Referencias**

Negi, S., y Negi, G. Framework to manage humanitarian logistics in disaster relief supply chain management in India. *International Journal of Emergency Services*, 10(1):40–76, 2021.

Caunhye, A. M., Nie, X., y Pokharel, S. Optimization models in emergency logistics: A literature review. *Socio-economic planning sciences*, 46(1):4–13, 2012.

Nappi, M. M. L., y Souza, J. C. Disaster management: hierarchical structuring criteria for selection and location of temporary shelters. *Natural Hazards*, 75:2421–2436, 2015.

Albareda-Sambola, M., Hinojosa, Y., Marín, A., y Puerto, J. When centers can fail: A close second opportunity. *Computers & Operations Research*, 62:145–156, 2015.



# Una matheurística para resolver un problema de planeación de producción en una ensambladora

Dámaris Arizhay Dávila Soria,<sup>1</sup>\* José Fernando Camacho Vallejo <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Posgrado de Ciencias Físico Matemáticas, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

<sup>2</sup>Escuela de Ingeniería y Ciencias, Tecnológico de Monterrey, Monterrey, Nuevo León

\* Correo electrónico: damaris.davilasr@uanl.edu.mx

**Palabras claves** —Binivel, planeación, matheurística

Este trabajo aborda un problema de asignación y producción en el cual una empresa necesita determinar las plantas de ensamblaje que deben atender a un grupo de clientes considerando restricciones de capacidad. Una vez que las plantas de ensamblaje conocen el número de productos requeridos para satisfacer la demanda de los clientes a los cuales darán servicio ordenan las piezas necesarias para el ensamblaje de los productos a proveedores. Los proveedores producen uno o más tipos de las piezas necesarias para el ensamblaje del producto final. Cada pieza producida tiene diferentes precios y tiempos de producción. Las plantas de ensamblaje utilizan diferentes tipos de máquinas con tiempos y costos de producción variables. El objetivo de la empresa es maximizar la satisfacción de los clientes en términos de tiempos de servicio, mientras que las plantas de ensamblaje buscan minimizar los costos de producción. Según la estructura del problema, se modela como un modelo de programación binivel, donde el nivel superior corresponde a la empresa responsable de asignar clientes a las plantas de ensamblaje, mientras que el nivel inferior corresponde a cada planta de ensamblaje. Para resolver el problema, se propone un algoritmo matheurístico anidado para las soluciones del líder. Específicamente, las decisiones de localización se realizan mediante un algoritmo de Búsqueda Local Iterada, y las decisiones de asignación se realizan con CPLEX. Para cada solución factible del líder se resuelve el nivel inferior con CPLEX. Se muestran resultados preliminares en los que se puede observar que el algoritmo propuesto encuentra soluciones de buena calidad en un tiempo razonable.

## Referencias

H. Lourenco, O. Martin, y T. Stutzle. Iterated local search. Handbook of metaheuristics, Springer US, 320–353, 2003.

S. Dempe. Foundations of bilevel programming. Springer Science & Business Media, 2002.

M. Fischetti, M. Fischetti. Matheuristics, Handbook of heuristics. Springer International Publishing, 121–153, 2018.



# Optimización de una cadena de suministro de tres etapas mediante un enfoque evolutivo multiobjetivo.

**Rodolfo Eleazar Pérez Loiza**

Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Apizaco, Av. Instituto Tecnológico s/n Apizaco, Tlaxcala 90300, México reproloiza@gmail.com

**Elias Olivares-Benitez.**

Facultad de Ingeniería, Universidad Panamericana, Álvaro del Portillo 49, Zapopan Jalisco 45010, Mexico. eolivaresb@up.edu.mx

**Aarón Guerrero-Campanur**

Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico Superior de Uruapan, Carr. Uruapan-Carapan 5555, Uruapan, Michoacán 60015, México aaron.gc@uruapan.tecnm.mx

**Jose Humberto Ablanado-Rosas**

The University of Texas at El Paso, 500 W. University Ave. El Paso, Texas 79968-0544, U.S. jablanedorosas2@utep.edu

En resumen, el trabajo propone el uso de una estrategia de optimización basada en un algoritmo evolutivo multiobjetivo para encontrar un conjunto de soluciones entre objetivos en conflicto para un diseño en una cadena de suministro de tres etapas. En esta cadena de suministro, las materias primas se envían desde un grupo de proveedores a un conjunto de plantas manufactureras. Estas plantas envían los productos terminados a un conjunto de centros de distribución y, finalmente, los productos son enviados a un conjunto de minoristas. Los objetivos en conflicto son la selección de proveedores y el costo total en toda la cadena de suministro. Los resultados muestran la capacidad del enfoque propuesto para encontrar soluciones eficientes en una frontera de Pareto entre los objetivos en conflicto y ofrecen diferentes opciones a los tomadores de decisiones en la cadena de suministro, quienes pueden seleccionar la solución que mejor se ajuste a sus preferencias y restricciones.

**Palabras clave:** Diseño de Cadena de Suministro, Multiobjetivo, Selección de Proveedores, Algoritmo Evolutivo, Pareto



# A compact quadratic integer program for the depot-free multiple traveling salesperson problem

José Alejandro Cornejo-Acosta<sup>1,2,\*</sup>, Jesús García-Díaz<sup>1,3</sup>, Julio César Pérez-Sansalvador<sup>1,3</sup> and Carlos Segura<sup>4</sup>

1 Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Puebla, 72840, México  
 2Tecnológico Nacional de México / ITS de Purísima del Rincón, Guanajuato, 36425, México  
 3Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, CDMX, 03940, México.  
 4Centro de Investigación en Matemáticas, Guanajuato, 36240, México

\* Email: alexcornejo@inaoep.mx

**Key Words** — integer programming, mTSP, routing problems, optimization

The depot-free multiple traveling salesperson problem (DFmTSP) is a variant of the conventional multiple traveling salesperson problem (mTSP). While the latter considers depots as part of the input, the former does not. Therefore, the DFmTSP better models situations where the depots are unknown or unnecessary. This problem has been studied in the literature through different approaches such as metaheuristics and integer programming. The DFmTSP seeks a set of  $m \in \mathbb{Z}^+$  disjoint paths ( $m$  is part of the input) that minimize an objective function over an input complete weighted graph  $G = (V, E)$ . Assuming the vertices in  $V$  are labeled as  $\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ , we propose an integer quadratic program (IQP) that adds  $m$  extra vertices to  $G$  whose cost to any other vertex in  $V$  is 0. Such added vertices are called dummy depots and are labeled in a dummy depots set  $D = \{v_{n+1}, v_{n+2}, \dots, v_{n+m}\}$ . Expressions (1)-(11) show the proposed IQP for the DFmTSP (Cornejo-Acosta et al., 2023). The solution of this IQP consists of a single closed path where  $m$  disjoint closed paths (the solution for DFmTSP) are codified. In this formulation  $V' = V \cup D$ .

$$\begin{aligned}
 \min \quad & \sum_{v_i \in V'} \sum_{v_j \in V'} c_{i,j} (x_{i,j} + x_{n+m,j} x_{i,n+1} + \sum_{v_k \in D \setminus \{v_{n+m}\}} x_{k,j} x_{i,k+1}) & (1) \\
 \text{s.t.} \quad & \sum_{v_j \in V' \setminus \{v_i\}} x_{i,j} = 1 & \forall v_i \in V' & (2) \\
 & \sum_{v_i \in V' \setminus \{v_j\}} x_{i,j} = 1 & \forall v_j \in V' & (3) \\
 & t_{n+1} = 0 & & (4) \\
 & t_{k+1} - t_k \geq 3 & \forall v_k \in D \setminus \{v_{n+m}\} & (5) \\
 & |V'| - t_{n+m} \geq 3 & & (6) \\
 & 1 \leq t_i \leq |V'| - 1 & \forall v_i \in V' \setminus \{v_{n+1}\} & (7) \\
 & t_i - t_j + x_{i,j} |V'| \leq |V'| - 1 & \forall v_i, v_j \in V' \setminus \{v_{n+1}\} & (8) \\
 & x_{i,j} \in \{0, 1\} & \forall v_i, v_j \in V' & (9)
 \end{aligned}$$

where

$$x_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{if a salesperson travels from } v_i \text{ to } v_j \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

$$t_i = \text{time at which vertex } v_i \text{ is visited in the path} \quad (11)$$





The objective function (1) minimizes the sum of the costs of the salesperson's paths (known as minsum). Constraints (2) and (3) are flow constraints; they guarantee that each vertex in the graph is visited exactly once. Constraints (4)-(6) are depot ordering constraints; their purpose is to avoid singleton paths and to ensure dummy depots are visited in order, i.e.,  $t_{n+1} < t_{n+2} < \dots < t_{n+m}$ . Constraints (7) and (8) are the classical Miller-Tucker-Zemlin SECs (Miller et al., 1960). Expressions (9)-(11) define the decision variables. As far as we know, the presented IQP is among the most compact formulations for this problem. Besides, it can be extended to more restricted variants by adding additional constraints (Cornejo-Acosta et al., 2023).

## References

Cornejo-Acosta, J. A., García-Díaz, J., Pérez-Sansalvador, J. C., and Segura, C. (2023). Compact integer programs for depot-free multiple traveling salesperson problems. *Mathematics*, 11(13).

Miller, C. E., Tucker, A. W., and Zemlin, R. A. (1960). Integer Programming Formulation of Traveling Salesman Problems. *J. ACM*, 7(4):326–329.



# Una perspectiva binivel para el análisis de la cadena de suministro en la valorización de cenizas de biomasa como materiales cementantes suplementarios

Juan G. Villegas a , Germán Álvarez-López b

a Grupo ALLIADO, Departamento de Ingeniería Industrial – Facultad de Ingeniería – Universidad de Antioquia - Calle 70 nro 52-21, Medellín 050010, Colombia

b Grupo Calidad, Metrología y Producción, Departamento de Calidad y Producción – Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano – ITM, Medellín, Colombia.

## **Resumen**

Las cenizas de biomasa se pueden utilizar en las industrias del cemento y el hormigón como material cementante suplementario (SCM), lo cual permite reciclar los desechos agrícolas y reducir el impacto ambiental de ambas industrias la agrícola y la del cemento/hormigón. Sin embargo, existen desafíos en el diseño de una cadena de suministro que utilice cenizas de biomasa para este propósito. Por lo tanto, en esta investigación, proponemos una perspectiva de cadena de suministro que evalúa el impacto ambiental y económico de incorporar cenizas de biomasa como SCM en las industrias de cemento/concreto. Para ello, proponemos un modelo de optimización binivel que incorpora el comportamiento estratégico de los dos actores de la cadena de suministro: el generador de cenizas de biomasa y el productor de cemento/hormigón. En este contexto, el generador de la ceniza busca maximizar sus ganancias al fijar el precio de la ceniza, mientras que el fabricante de cemento/hormigón busca minimizar sus costos totales de operación (que incluyen los costos necesarios para adaptar su cadena de suministro para la incorporación de cenizas de biomasa como MCS) o las emisiones de CO<sub>2</sub> de su cadena de suministro.

Validamos el modelo utilizando datos del contexto colombiano a nivel industrial a gran escala, considerando un gran productor de cemento/concreto y cenizas de bagazo de caña (CBA) y cenizas de palma de aceite (POFA) como SCM. Los resultados muestran reducciones potenciales en las emisiones de CO<sub>2</sub> de alrededor del 6

**Palabras clave**– Materiales cementantes suplementarios, valorización de cenizas de biomasa, diseño de cadenas de suministro, economía circular, optimización binivel, localización de instalaciones



# Propuesta para agendar para calendarizar pacientes en entregas de oxígeno medicinal

Brenda Merritt,<sup>1\*</sup> Jania Saucedo,<sup>1</sup> Luis Infante Rivera<sup>1</sup> Nancy Arellano<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León. <sup>2</sup>Linde México, San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

\* Correo electrónico: [brenda.merrittb@uanl.edu.mx](mailto:brenda.merrittb@uanl.edu.mx)

**Palabras clave**– distribución de entregas, herramienta de pronósticos, heurístico, asignación.

El oxígeno medicinal es un gas importante, que se utiliza para atender a todo tipo de personas en cualquier etapa de su vida. Con la llegada del COVID-19 a principios del 2020, aumentó la demanda de oxígeno medicinal y generó un gran impacto. El suministro eficiente del recurso depende en gran medida de la configuración estratégica de una red logística, que se compone por proveedores, almacenes, plantas de producción, centros de distribución, entre otros (Shadkam, 2020).

El tema de investigación propone resolver la problemática de enrutamiento de entregas a clientes, considerando una segmentación o agrupación de estos para su entrega dado un día de la semana, y tener una mayor certeza de que las agrupaciones de clientes que se diseñen sean factibles (cumplan requisitos de capacidad de vehículos, tiempo máximo de circulación de vehículos, choferes disponibles y distancia de recorrido máximas, que se cumpla la demanda de todos los clientes). Para comprobar la eficacia de la segmentación se planea hacer una herramienta de pronóstico de servicio a clientes basada en la demanda histórica anual, de modo que se tenga una lista de clientes probables a atender diaria y un algoritmo basado en el vecino más cercano para crear las agrupaciones de clientes que sean factibles de acuerdo con los requisitos antes planteados.

Esto se logrará considerando que se requieren agrupaciones de visita por día dependiendo de la capacidad, donde cada centro de distribución tiene  $k$  vehículos disponibles con una capacidad  $p$  cada uno

## Referencias

Shadkam, E. (2022). Cuckoo optimization algorithm in reverse logistics: a network design for COVID-19 waste management. *Waste Management & Research*, 40(4), 458-469



# Simulación de una línea de surtido con tecnología Pick to light

Laura Camila Rodríguez Hernández<sup>1</sup>, Gaston Vertiz Camaron<sup>2\*</sup>, José Concepción López Rivera<sup>3</sup>

1Dpto. de Posgrado, Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma del Estado de México.

2Dpto. de Posgrado, Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma del Estado de México

3Dpto. de Posgrado, Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma del Estado de México

\* Correo electrónico: gas.ver2009@yahoo.com.mx

**Palabras clave**– Simulación, Surtido de pedidos, Distribución, Demanda

La tecnología Pick to Light (PtL), o también conocida como, sistema de selección de órdenes guiadas por luz, permite que los pedidos lleguen desde un servidor hasta la línea de surtido, donde por medio de visualizaciones luminosas se indica en cada posición la cantidad de un ítem a surtir. En este documento se estudia la importancia del sector farmacéutico y la necesidad de contar con disponibilidad y suministro continuo de productos farmacéuticos para animales, buscando encontrar los parámetros de inventario ideales, para satisfacer los requisitos de la demanda a través de una línea de surtido con tecnología PtL, la cual indica que una vez escaneado el pedido, qué productos van en esa orden de envío al cliente. Se busca por medio de la simulación se detecten los posibles cuellos de botella de la operación actual, para ayudar a que el flujo de suministro de los pedidos sea continuo y sin errores dentro del proceso, además de evitar retrasos por reparaciones y tiempos muertos en la línea de surtido. Asimismo, el estudio resalta el desarrollo de un método sólido basado en referentes bibliográficos y opiniones de especialistas, para así lograr obtener los resultados deseados que reduzcan costos de la manera más adecuada, adoptando procedimientos lógicos fundamentales y considerando la estrategia de administración de inventario ABC.

Para mejorar el flujo del proceso, se revisó el proceso que inicia con: (1) una orden de compra, (2) verificación de inventario en el almacén. Si lo hay, (3) ordenamiento del surtido del producto. En caso de no haber, (5) envío de una solicitud a planta de reaprovisionamiento, luego se hace (6) la validación de fechas de recibo y se (7) hace la confirmación del reabastecimiento en el sistema. Una vez que se hace la orden del surtido del producto, (8) se actualiza el inventario y se envía la orden del producto a Stage. Posteriormente (9) se hace la solicitud de recolección y finalmente (10) se realiza el envío de la orden del producto al cliente final. Con base en lo anterior, y para fines de la simulación de este proceso, se identificaron los parámetros importantes siendo: la distribución de la demanda, el comportamiento del inventario, las características de la compra, los costos de almacenamiento y el pronóstico de la demanda. Cabe señalar que, se hizo un análisis ABC del inventario para identificar los productos de mayor demanda. Cabe señalar que, la variable más importante en este estudio fue la de pedidos (surtidos/hora), del mismo modo lo fueron los productos producidos (ABC) para mantener un adecuado nivel de inventario de las instalaciones.

Teniendo los datos recabados, se ingresaron en un complemento de Excel, denominado @Risk, para la validación del comportamiento estadístico de los datos. Posteriormente, se usó el software Flexim siendo alimentado con los parámetros obtenidos del software @Risk. Se emplearon dos objetos fijos, como lo son las fuentes, que se encargarán de llevar a cabo el flujo del producto al proceso, que cuenta con dos colas; una fue la línea de abastecimiento de la caja con la etiqueta para el proceso de surtido y la otra, fue para aquellos pedidos que deben ingresar o pasar por un proceso previo de surtido fue la tecnología PtL. En el escenario actual, el nivel de servicio era alrededor del 85% y la cantidad de pedidos atendidos por hora era de 436; mientras que, en el modelo mejorado mediante el balanceo de línea, se atendieron 478 pedidos por hora.







## Referencias

- [1] J. Trojanowska, J. Husár, S. Hrehová, and L. Knapcikova, "Poka Yoke in Smart Production Systems with Pick to Light Implementation to Increase Efficiency: A Study," *Manufacturing Technologies*, 2023.
- [2] O. Aguilar Rascón, Posada Vázquez R., Soto Sevilla, Martha Salomé, "Cadena de abastecimiento, factores que afectan la competitividad en las MIPYMES," *Revista electrónica del Centro de Investigación, Universidad La Salle*, vol. 10, pp. 221- 232, 2012.
- [3] M. I. Duque Roldan, Osorio Agudelo, Jair Albeiro, Agudelo Hernández, Didier Mauricio, "Los inventarios en las empresas manufactureras, su tratamiento y su valoración. Una mirada desde la contabilidad de costos," *Contaduría Universidad Antioquía*, vol. 56, pp. 61-79, 2010.
- [4] A. Ortega Marqués, Padilla Domínguez, Sandy Patricia, Torres Durán, Johana Isabel, Ruz Gómez Alexander, "Nivel de importancia del control interno de los inventarios dentro del marco conceptual de una empresa," *Liderazgo Estratégico*, vol. 7, 2017.
- [5] M. R. López-Mejía, Gómez Martínez. Alicia, Marín-Hrnández. Salvador, "Sistema de costos ABC en la mediana empresa industrial mexicana," *Cuadernos de contabilidad*, vol. 12, pp. 23-43, 2011.
- [6] I. Y. Garrido Bayas, Cejas Martínez, Magda, "La gestión de inventario como factor estratégico en la administración de la empresa," *Negotium, Revista Científica Electrónica de Ciencias Gerenciales*, vol. 13, pp. 109-129, 2017.
- [7] D. I. T. J. J., "Elementos de la administración y manejo de inventarios," vol. Ediciones, El Caballito, 1982.
- [8] Ó. Parada Gutiérrez, "Un enfoque multicriterio para la toma de decisiones en la gestión de inventarios," *Cuadernos de administración*, vol. 22, pp. 169-87, 2009.
- [9] J. H. Heizer and B. Render, *Principles of operations management*: Pearson Educación, 2004.
- [10] A. Pérez Paredes, Cruz de los Ángeles, José Aurelio, Guatemala Villalobos, Araceli Ma. De Jesús, Juárez Fonseca, Verónica, "Importancia de los pronósticos en la toma de decisiones en la MIPYMES," *GEON (Gestión, Organización y Negocios)*, vol. 5, pp. 97-114, 2018



# Gestión de una cadena de suministro verde para la industria textil

Kalid Paola Aburto Moreno, 1\* y Esther Segura Pérez 2

1 Dpto. de Sistemas, Facultad de Ingeniería, Ciudad de México, Ciudad de México. 2Dpto. de Ingeniería en Sistemas, Facultad de Ingeniería, Ciudad de México, Ciudad de México

\* Correo electrónico: paokalid@hotmail.com

**Palabras clave**— Huella de carbono, Cadenas de suministro, Industria Texti

En la actualidad hemos vivido muchos avances tecnológicos, científicos, médicos, entre otros, por lo que las actividades económicas se ampliaron o crearon nuevas alternativas, dando como resultado una forma de vida en la cual la producción en masa de distintos artículos, el consumismo y la disposición total han provocado un gran impacto en el ambiente. En este resumen, se aborda la necesidad de crear cadenas de suministro verdes, es decir, estrategias que sean amigables con el medio ambiente durante todo el ciclo de un producto. Uno de los principales problemas que propician el cambio climático que estamos viviendo hoy en día, es la huella de carbono, que representa el volumen total de gases de efecto invernadero (GEI) que producen las actividades económicas y cotidianas del ser humano. Una investigación llevada por Foro Económico Mundial y Boston Consulting Group (BCG) (Net-Zero Challenge: The supply chain opportunity, 2021) muestra que las cadenas de suministro representan más del 50% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero.

La cadena de suministro de la industria textil es una de las más contaminantes en la actualidad, de acuerdo con un informe de la Conferencia de la ONU sobre Comercio y Desarrollo (Foro de los Países de América Latina y el Caribe sobre el Desarrollo Sostenible - 2018, s. f.) la industria de la moda es la segunda más contaminante del mundo, tan solo en Ciudad de México se desechan tres mil 700 millones de toneladas de residuos textiles al año y solo se recicla uno por ciento (Delgado, 2022). Se estima que la industria de la moda es responsable del 10% del total de las emisiones de CO2 lanzadas a la atmósfera, superando incluso a las producidas por los vuelos comerciales (foro de desarrollo sostenible 2018), la mayoría de estas emisiones tienen lugar especialmente durante la producción y el transporte de las prendas.

Como parte de la propuesta para ayudar a este gran problema, se espera realizar una calculadora de huella de carbono híbrida creada a partir de una combinación de los distintos métodos que existen (método ISO, método de análisis de procesos, o el método entrada-salida ambiental), realizando la adecuación de los cálculos necesarios para aplicarlos a las cadenas de suministro textiles, para que de esta manera se obtengan resultados más precisos, los cuales se espera sean altos y alarmantes, por ejemplo, de acuerdo con García Gómez “la huella de carbono para una camiseta de poliéster es de 4,702 kg de CO2 eq, mientras que para una de algodón es de 5,537 kg de CO2eq ” (García Gómez, 2020) por otro lado Salas y Condorhuaman señalan que la generación de gases de efecto invernadero (GEI) por emisiones directas asciende a 3,62 kg de CO2eq por cada kilogramo de producción en planta (Salas & Condorhuaman, 2009 ), esto sumado a qué pasa por todo un proceso dentro de la cadena de suministro en el cual se generan más emisiones y que anualmente se producen toneladas de prendas. Esto nos permitirá crear estrategias que tengan como principio la sostenibilidad y las cuales nos permitan documentar los avances y el impacto de las decisiones a lo largo del tiempo, para en un futuro poderlo implementar en distintas industrias.





Actualmente, la medición de huella de carbono no cuenta con la relevancia necesaria dentro de la industria, pero se prevé para 2026 asignar el pago de un impuesto a empresas que no demuestren tener un porcentaje de mejora anual en su intensidad operativa de carbono, y si bien de momento solo será aplicable en países europeos, se espera que poco avance esta medida a todo el mundo (Shih Willy C.,2022). El disminuir la huella de carbono de las empresas debe ser el primer paso hacia la reducción de su impacto ambiental, la sostenibilidad en los negocios debe de ser un compromiso con la planificación, la construcción y la implementación económica de prácticas colectivas sostenibles.

### Referencias

Delgado, Sandra. (2022, enero 19). Los residuos textiles, altos contaminantes. Gaceta UNAM. <https://www.gaceta.unam.mx/los-residuos-textiles-altos-contaminantes/> Foro de los Países de América Latina y el Caribe sobre el Desarrollo Sostenible - 2018. (s/f).

Foro de los Países de América Latina y el Caribe sobre el Desarrollo Sostenible - 2018. Recuperado de <https://foroalc2030.cepal.org/2018/es>

García Gómez, F. (2020). Economía circular en la industria de la moda: avances y valorización del PET. Análisis de la huella de carbono. Repositorio abierto de la Universidad de Cantabria.

Net-Zero Challenge: The supply chain opportunity. (2021). World Economic Forum. Boston Consulting Group. Recuperado de [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Future\\_of\\_the\\_last\\_mile\\_ecosystem.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_the_last_mile_ecosystem.pdf).

Organización de las Naciones Unidas. (2015, 15 noviembre). Acuerdo de París. [https://unfccc.int/sites/default/files/spanish\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf)

Salas C., G., & Condorhuaman C., C. (2009). Huella de Carbono en la Industria Textil. Edu.pe. [https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/ing\\_quimica/v12\\_n2/pdf/a04v12.pdf](https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/ing_quimica/v12_n2/pdf/a04v12.pdf)

Shih, W. C. (2022, marzo 21). Are the risks of global supply chains starting to outweigh the rewards? Harvard business review. <https://hbr.org/2022/03/are-the-risks-of-global-supply-chains-starting-to-outweigh-the-rewards>



# Minería de procesos aplicada a el análisis del proceso de almacenamiento y despacho de producto terminado en un almacén de la industria automotriz

Juan Carlos Alonso Torres1\*, Jenaro Nosedal Sánchez2, Javier García Gutiérrez3

1,3 Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México  
2 GSTS, Dartmouth Nova Scotia, Canadá

Correo electrónico: jcalonsot001@profesor.uaemex.mx

**Palabras clave**– Optimización de almacenes, mejora continua, minería de procesos.

El almacenamiento es la tarea más importante y a su vez, la que mayor costo conlleva en los procesos logísticos. De acuerdo con [1], en ocasiones dichos costos ascienden hasta un 20% del costo total de los procesos de logística y de la cadena de suministros. Dentro del almacén el proceso de despacho sigue un flujo lineal, por lo que un problema puede ocasionar conflictos en el resto de las operaciones. Derivado de la situación antes descrita, es necesario hacer el rediseño que permita llevar a cabo de manera eficiente este proceso, debido a que, de acuerdo con [2], los profesionales en los sistemas de almacenamiento coinciden en que, dentro del aspecto de mejora de la productividad, la tarea de despacho es la de más alta prioridad. Para ejecutar el proceso de despacho de manera eficiente y así alcanzar el objetivo de la empresa, es decir, ordenes completas dentro de las ventanas de tiempo establecidas por los clientes, es necesario identificar los artículos clave y con esto poder distribuirlos de forma óptima dentro del almacén.

Para resolver este problema se propone la aplicación de la metodología de minería de procesos con enfoque basado en el descubrimiento aunado a la categoría de proyecto basado en datos. La ejecución de la minería de procesos incluyó el análisis exploratorio, llevado a cabo con códigos en R, de los datos proporcionados por una empresa del giro automotriz. Para el análisis mencionado se consideraron variables clave en el nivel de desempeño del almacén tales como, tamaño de las órdenes, números de parte, locación dentro de las líneas de producción del cliente a las cuales van dirigidos los números de parte, y la clasificación de los números de parte acorde a los tipos de contenedores para el transporte con base en el volumen que tiene cada número de parte.

El objetivo de obtener la clasificación de los números de parte claves fue alcanzado con ayuda de la minería de procesos de descubrimiento, a través de un código capaz de generar datos estadísticos. Adicionalmente, se realizó una subclasificación importante consistente en identificar a qué locación, dentro de las líneas de producción, va dirigido cada número de parte. Es importante mencionar que, al realizar la subclasificación por locación para cada número de parte, fue detectado que no hay mezcla de números de parte entre las locaciones analizadas (descubrimiento de procesos).

Los resultados obtenidos en esta primera etapa generaron los parámetros para alimentar los modelos de simulación de la segunda etapa (i.e., para realizar minería de procesos de validación). Los modelos propuestos serán capaces de identificar posibles discrepancias entre la planeación elaborada por la empresa de los procesos y su ejecución real.





## Referencias principales

[1] J. A. Tompkins, J. A. White, Y. A. Bozer, and J. M. Tanchoco, Facilities planning. 2003.

[2] Arango Serna, Martín Darío, Zapata C., Julián Andrés, Pemberthy Jorge Isaac Reestructuración del layout de la zona de picking en una bodega industrial. Revista de Ingeniería [en línea]. 2010, (32), 54-61[fecha de Consulta 12 de noviembre de 2022]. ISSN: 0121- 4993. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=121018987007>



# Asignación de salas de cómputo basada en prioridades para un problema de programación de horarios de cursos universitarios

Cristina Maya-Padrón,<sup>1</sup> \* y Nancy M. Arratia-Martínez

<sup>1</sup> Ingeniería en Sistemas Computacionales, Universidad Politécnica de García, García, Nuevo León  
<sup>2</sup> Depto. de Administración de Empresas, Universidad de las Américas Puebla, Cholula, Puebla.

\* Correo electrónico: cristina.maya@upgarcia.edu.mx, kerstin.maya@gmail.com

**Palabras clave** — Planeación de horarios de cursos, Programación lineal entera, Problema de asignación.

Los problemas educativos de programación de horarios son bien conocidos por su complejidad y dificultad, siendo una tarea que consume mucho tiempo para muchas Instituciones. En estos problemas existen varios temas de investigación en la literatura que pueden ser enfocados a los estudiantes, a los profesores, a los cursos y/o a las clases. Con respecto al tema que se centra en las clases, algunas características consideradas en la literatura son: comprimir el horario de clases durante la semana, la capacidad máxima de las aulas, la no interferencia en la ubicación de las clases, y el equipamiento necesario para cada clase. En esta investigación nos enfocaremos a estas dos últimas características.

La característica de la no interferencia en la ubicación de las clases es algo que debe considerarse casi obligatoriamente cuando se realiza asignación de aulas, esto para no empalmar cursos en la misma aula/laboratorio/sala de cómputo. La característica de equipamiento necesario para cada clase es importante debido a que las Instituciones educativas pueden tener diversas características en sus aulas, laboratorios o salas de cómputo. Cada curso no necesita el mismo material, y aquellos cursos que son prácticos, tienen ciertas necesidades de mobiliario, herramientas, software o equipos.

En esta investigación se aborda el problema de planeación de horarios de cursos universitarios considerando dos tipos de asignaciones: la asignación de profesores a cursos con preferencias, y la asignación parcial a salas de cómputo basada en prioridades de acuerdo al curso. Se considera como caso de estudio una Universidad mexicana que tiene tres salas de cómputo, cuyos equipos difieren en cuanto a sus características de hardware y software. La limitación en la cantidad de licencias y características necesarias para algunos tipos de programas necesarios en los cursos hace que se tenga la necesidad de asignar ciertos cursos a una determinada sala de cómputo, sin embargo, al tener varios cursos que necesitan el uso de salas de cómputo, se debe tener una planeación de asignación de uso de estas salas de cómputo que priorice ciertos cursos a ciertas salas de cómputo.

En este trabajo se plantea un modelo de programación lineal entera para la generación de un programa de horarios de cursos de una carrera para una universidad mexicana. El modelo debe considerar la asignación parcial de cursos a salas de cómputo basada en prioridades. Se busca maximizar la preferencia total de la asignación de los profesores a cursos, para esto se considera una tabla de preferencias con ponderaciones en un rango de 0 a 1 dada por el coordinador. Otras restricciones que se abordan son la no interferencia en los horarios de los profesores, de los estudiantes de un mismo grupo, el cumplimiento de las horas del curso, el cumplimiento de los bloques de horario por turnos, la asignación de un profesor a cursos dirigidos a un mismo grupo están limitada, entre otras.





Como trabajo en proceso, se presenta una descripción del problema, las características que aborda, su relación con las restricciones de problemas de planeación de horarios según la literatura, la problemática de asignación parcial de cursos a salas de cómputo basada en prioridades, y resultados preliminares. Los resultados preliminares se realizan sobre un conjunto de instancias reales.

## Referencias

Nancy M. Arratia-Martinez, Cristina. Maya-Padron y Paulina A. Avila-Torres. University Course Timetabling Problem with Professor Assignment. *Mathematical Problems in Engineering*, (2021). DOI:10.1155/2021/6617177.

S. Ceschia, L. Di Gaspero, A. Schaerf. Educational timetabling: Problems, benchmarks, and state-of-the-art results. *European Journal of Operational Research*, (2022). DOI:10.1016/j.ejor.2022.07.011.

M. Chen, F. Werner, M. Shokouhifar. Mathematical modeling and exact optimizing of university course scheduling considering preferences of professors *Axioms*, (2023). DOI:10.3390/axioms12050498.



# A lexicographic optimization model for personnel scheduling at container terminals

Julio Mar-Ortiz, 1\* and María D. Gracia1

1Engineering Faculty, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Tampico, Tamaulipas.

\* Email: jmar@docentes.uat.edu.mx

**Key Words** — personnel scheduling, container terminal, lexicographic optimization

The productivity and quality of services provided by container terminals to trucking and line shipping companies, critically depends on the nature and efficiency of the decisions made during the equipment and workforce planning activities. The performance of manned equipment, such as quay cranes or yard cranes, is extremely impacted by their operator’s productivity, which makes the operator assignment decision a relevant element in the manned equipment scheduling. Accordingly, the overall efficiency and profitability of a container terminal can be greatly improved with a proper personnel and equipment allocation and scheduling decisions (Yu et al., 2022). These decisions will result on serving vessels timely or with significant operation delays for shipping companies. However, in the literature this topic has receive little interest related to other topics in the port and maritime logistics literature (Caballini and Paolucci, 2020). Therefore, in practice, personnel and resource scheduling decisions have been commonly based on container managers experience.

This research deals with the workforce-scheduling problem. The aim is to determine the optimal allocation of crane operators, trailer drivers and operative workers per shifts. This problem involves two decisions: scheduling and assignment. The scheduling decision determines the roster of workers for each shift. The assignment decision determines the appropriate operator, based on its skills and category, to each manned equipment during its assigned shift. The objective is to guarantee the operational continuity of the equipment during shift changes and mealtimes, while maximizing its average productivity, and satisfying the demand of moves during specific times slots in a working day. Additional constraints include the assignment of operators to equipment according to its ability to operate each piece of equipment, its hierarchical level or category, as well as other constraints established by human resource policies, as rests guaranteed after a duty and mealtimes, among others. A lexicographical optimization model with three objectives is presented, and an experimental framework is analyzed to derive managerial insights.

### References

C. Caballini and M. Paolucci. A rostering approach to minimize health risks for workers: An application to a container terminal in the Italian port of Genoa. *Omega*, 95, 102094, 2020.

H. Yu, Y. Deng, L. Zhang, X. Xiao and C. Tan. Yard operations and management in automated container terminals: A review. *Sustainability*, 14(6), 3419. 2022





# Un modelo para la estimación de la matriz Origen-Destino considerando un problema de asignación de tránsito con capacidades.

Karla Isabel Cervantes Sanmiguel \*, María Victoria Chávez Hernández, Omar Jorge Ibarra Rojas

Centro de Investigación en Ciencias Físico Matemáticas, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas.  
Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

\* Correo electrónico: karla.cervantessnmg@uanl.edu.mx

**Palabras clave** — Matriz Origen-Destino; Asignación de Tránsito; Programación Bi-nivel

La información de cómo se mueven los pasajeros entre zonas de una región utilizando un sistema de transporte público es conocida como matriz Origen-Destino (OD). Estas matrices son relevantes para la toma de decisiones en la planificación del transporte, tal como el diseño de red de tránsito y el ajuste de frecuencias. Sin embargo, obtenerlas resulta complejo y costoso debido a que usualmente los datos se extraen de encuestas realizadas a la población cada una o dos décadas (Bera and Rao, 2011). Una alternativa para estimar (o actualizar) una matriz OD con información disponible, es utilizar datos fáciles de obtener, tal como los flujos observados en algunos segmentos de la red de transporte y una matriz obtenida de años anteriores (obsoleta).

En este trabajo, consideramos que tenemos un sistema de transporte del cual conocemos el trazado de las líneas y sus respectivas frecuencias de paso, la capacidad de los vehículos, y los flujos observados en algunos segmentos de líneas. Basándonos en lo anterior, el problema de Estimación de la Matriz OD determina una matriz que reproduce los flujos observados, pero sin perder la estructura de la matriz obsoleta. Esto se realiza mientras se resuelve un problema de asignación de la demanda en donde se asegura que no se excede la capacidad de las líneas y que los pasajeros se trasladan por la ruta más corta.

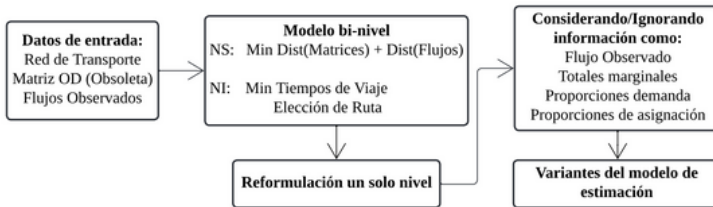


Figura 1: Metodología de solución propuesta para la estimación de matrices Origen-Destino.

Para modelar matemáticamente el problema se utilizó una red extendida de la red de líneas, la cual mediante distintos tipos de arcos modela acciones de viaje, espera y transbordo de los pasajeros. Como ha sido propuesto anteriormente (Lam et al., 2003, Lundgren and Peterson, 2008), planteamos una formulación de programación bi-nivel, en donde el nivel superior (NS) minimiza la diferencia entre las matrices y los flujos de pasajeros (estimados y obsoletos), mientras que el nivel inferior (NI) resuelve el problema de asignación de tránsito. Posteriormente, se reformuló el problema a uno de un solo nivel utilizando la teoría de dualidad y las envolturas de McCormick para linealizar. Además, notamos que podíamos considerar otro tipo información fácil de obtener como totales marginales en paraderos (representan la cantidad total de personas que llegan y salen de este lugar), así como proporciones de demanda y de flujo de pasajeros en la red con la demanda obsoleta. Utilizando esta información, planteamos diversos modelos que contemplan diferentes combinaciones de datos. En la Figura 1 se esquematiza la metodología de solución implementada en este trabajo.





Como experimentación realizamos un análisis de sensibilidad sobre la cantidad y tipo de información, así como restricciones útiles que necesita el modelo reformulado para proporcionar una buena estimación. Para esto, generamos distintos escenarios para simular situaciones en las que la demanda en el sistema de transporte aumenta, disminuye o ambas. Los resultados nos muestran cuáles modelos son más eficientes para estimar matrices OD en algunos escenarios específicos.

### **Referencias**

Sharminda Bera and K. V. Krishna Rao. Estimation of origin-destination matrix from traffic counts: the state of the art. *European Transport*, 49:3–23, 2011.

William H. K. Lam, Z. X. Wu, and K. S. Chan. Estimation of transit origin–destination matrices from passenger counts using a frequency-based approach. *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms*, 2(4):329–348, Dec 2003.

Jan T. Lundgren and Anders Peterson. A heuristic for the bilevel origin–destination-matrix estimation problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 42(4):339–354, 2008.



# Programación de vehículos para una línea de tránsito con buses eléctricos considerando la carga en ruta y ubicación de las estaciones de carga.

Yulitza Y. Jacobo Romero \* , Diana L. Huerta-Muñoz y Omar J.Ibarra-Rojas

Centro de Investigación en Ciencias Físico Matemáticas, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas  
Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolas de los Garza, Nuevo León

\* Correo electrónico: yuli 1296@hotmail.com

**Palabras claves**— Recarga en ruta, OppCharge, buses eléctricos, programación de vehículos, localización de estaciones.

El transporte público es una opción más sostenible desde el punto de vista ambiental en comparación con el uso de vehículos privados. Varios estudios han encontrado que el transporte público ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación del aire, lo que contribuye a mitigar el cambio climático y mejorar la salud de la población. Además, los sistemas de transporte público bien planificados pueden fomentar el uso de energías renovables y tecnologías limpias, lo que aumenta aún más su impacto positivo en el medio ambiente. La optimización de los sistemas de transporte público implica abordar subtemas como la infraestructura y diseño de red, la gestión del flujo de pasajeros, asignación de vehículos, así como la asignación de conductores. Al considerar estos aspectos de manera integral, es posible mejorar la eficiencia, la sostenibilidad y la calidad del transporte público, creando sistemas que satisfagan las necesidades de los usuarios y contribuyan a ciudades más habitables y sostenibles. En este estudio, presentamos un problema de asignación de vehículos eléctricos en un sistema de transporte público que implica decisiones estratégicas, como la ubicación de las estaciones de carga. Además, trabajamos con la suposición de recargas en ruta y cargas totales. Cabe destacar que durante estas acciones de recarga, los vehículos transportan pasajeros, por lo que tiempos prolongados de recarga tienen un impacto negativo en la experiencia del usuario. La principal contribución de este trabajo es un nuevo problema de optimización que incluya características operacionales del sistema con tecnología OppCharge. En particular, la recarga de batería en ruta conlleva a un efecto negativo de los pasajeros que esperan en el vehículo y que el tiempo de viaje total se hace más largo. Entonces, nuestro problema de optimización consiste en determinar la programación de viajes y las acciones de recarga para los vehículos eléctricos a lo largo de su ruta, con el objetivo de minimizar el tamaño de la flota. Sin embargo, es importante tener en cuenta que también debemos controlar el impacto en el nivel de servicio ofrecido a los pasajeros, especialmente en términos del tiempo de espera. En otras palabras, buscamos encontrar la mejor manera de asignar los vehículos y gestionar las recargas para lograr un equilibrio entre la eficiencia operativa (minimizando el tamaño de la flota) y la calidad del servicio (manteniendo bajos los tiempos de espera de los pasajeros). Se presenta una formulación matemática propuesta del problema no lineal entero mixto para el Problema de Programación de Vehículos Eléctricos (EVSP, por sus siglas en inglés). Además, se muestra una variante del modelo en la que se incluyen decisiones estratégicas (EVSP-LS) con el fin de reducir los altos costos de la infraestructura de carga. Para la validación de las formulaciones matemáticas propuestas para EVSP y EVSP-LS, se creó un generador de instancias que nos permite obtener datos que simulan una línea circular de transporte público. Además de analizar la eficiencia del solucionador en nuestro modelo, hemos definido algunos indicadores de afectación de los pasajeros para las soluciones obtenidas, el primer indicador de afectación de pasajeros es el tiempo promedio de recarga de batería por viaje en el sistema, lo cual puede reflejar los tiempos de espera promedio experimentados por los pasajeros en el vehículo. Además, proponemos un indicador que mida el promedio de veces que el autobús se detiene para realizar acciones de recarga de batería. Este indicador permitirá evaluar la eficiencia del sistema en términos de la cantidad de paradas realizadas para la recarga de batería, lo cual puede afectar la experiencia de viaje de los pasajeros.



Finalmente, se sugiere analizar otro indicador, que es el nivel de utilización de cada una de las diferentes estaciones de recarga de batería. Esto es importante para evaluar la eficacia de las ubicaciones de las estaciones en conjunto. El nivel de utilización de cada estación nos proporcionará información sobre la demanda y la eficiencia de cada ubicación en términos de la cantidad de veces que se utilizan para recargar las baterías de los vehículos. Los resultados muestran que limitar el tiempo total de recarga puede controlar la variación en el porcentaje de uso de la estación, proporcionando varias alternativas de acciones de recarga y tiempos de espera. Por otro lado, el problema ampliado puede reducir hasta un 15.57 % los tiempos de espera dentro del vehículo y al menos un 42 % de los costos de infraestructura en comparación con el problema original, brindando una buena opción para simular o evaluar la infraestructura de carga para la adopción de la electro movilidad en sistemas de transporte público.

## Referencias

Ceder, A. (2007). *Public transit planning and operation: Modeling, practice and behavior*. Elsevier, Butterworth-Heinemann. Cervero, R., Guerra, E., Sarmiento, O. (2019). *From Low- to High-Carbon Mobility: Transport Policy*

He, Y., Liu, Z., Song, Z. (2020) Optimal charging scheduling and management for a fast-charging battery electric bus system. *Transportation Research: Part E*, 142.

Ibarra-Rojas, O.J., Delgado, F., Giesen, R., Muñoz, J.C. (2015) Planning, operation, and control of bus transport systems: A literature review. *Transportation Research Part B*, 77: 38-75.

Litman, T. (2020). *Evaluating Public Transportation Health Benefits*. Victoria Transport Policy Institute.

Smith, R., Widener, M., Wachter, S. (2019). Public transit, commuting stress, and walking: Does transportation mode choice influence subjective well-being?. *Journal of Transport Geography*, 76, 230-240.

Wang, Y., Huang, Y., Xu, J., Barclay, N., (2017). Optimal charging scheduling for urban electric buses: A case study in Davis. *Transportation Research Part E. Rev.* 100, 115–132



# Optimización bi-objetivo de horarios sincronizados y asignación de vehículos con interlineado en transporte público

Omar J. Ibarra-Rojas,<sup>1</sup> \* y Yasmin A. Rios-Solis<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México. <sup>2</sup>Escuela de Ingeniería, Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey, Nuevo León, México.

\* Correo electrónico: omar.ibarrarj@uanl.edu.mx

Resumen: El proceso de planificación y operación de sistemas de transporte urbano es bastante complejo debido a la cantidad de información necesaria, las distintas decisiones involucradas, la relación entre dichos elementos, y el conflicto entre incrementar calidad de servicio (en términos de tiempos de viaje/espera) y reducir los costos operacionales del sistema (Ceder y Tal., 2001). Comúnmente, se divide en distintos niveles de decisión como lo son: el diseño de red como decisiones a largo plazo; el cálculo de frecuencias y el diseño de horarios en las decisiones a mediano plazo; y la asignación de vehículos y conductores para modelar las decisiones a corto plazo (vea Desaulniers y Hickman., 2007; Ibarra-Rojas et al., 2015). Estamos interesados en la sincronización de horarios ya que en todos los sistemas de transporte, existen usuarios que pueden usar más de una línea en un tramo de su ruta hacia su destino (por ejemplo las líneas en la Figura 1). En estos casos, el problema de asignación de vehículos también puede contribuir a una reducción de costos al permitir compartir los recursos de conductores y vehículos en un enfoque de “interlineado”, donde un mismo vehículo o conductor puede realizar viajes de distintas líneas.

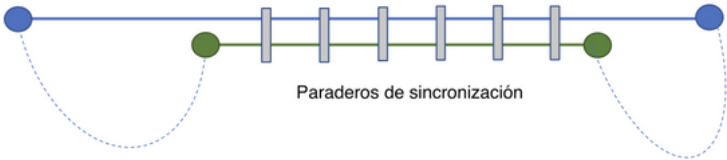


Figura 1: Ejemplo de dos líneas con tramos comunes.

Proponemos una extensión de Ibarra-Rojas y Muñoz. (2016), en donde además de determinar el horario de las líneas de transporte para minimizar el tiempo de espera en paraderos de sincronización, también se determinará la asignación de viajes a vehículos con interlineado para reducir el tamaño de flota (lo cual es un factor importante en los costos operacionales). Formulamos el problema de optimización bi-objetivo usando programación entera-mixta. Los resultados experimentales implementando un  $\epsilon$  constraint evidencian el conflicto entre los dos objetivos a optimizar (ejemplos en Figura 2).

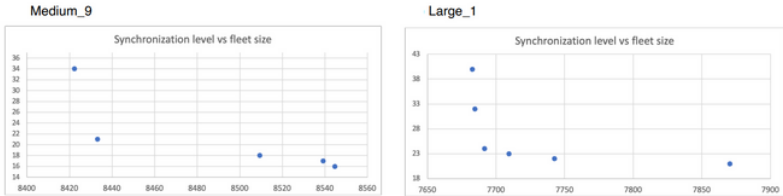


Figura 2: Ejemplos de Frenes de Pareto para una instancia de tamaño medio y una instancia grande (en terminos de la cantidad de líneas y viajes en el sistema).





El trabajo futuro directo, se orienta en considerar otras decisiones como asignación de conductores, o supuestos como el uso de vehículos eléctricos que cambian las condiciones operacionales del sistema por la cuestión de autonomía de vehículos.

## Referencias

Ceder, A., Tal, O., 2001. Designing synchronization into bus timetables. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1760, 28–33.

Desaulniers, G., Hickman, M., 2007. Public transit. In: Barnhart, C., Laporte, G. (Eds.), *Handbooks in operations research and management science, Transportation*, 14:69–128, 2007.

O.J. Ibarra-Rojas, F. Delgado, R. Giesen y J.C. Muñoz. Planning, operation, and control of bus transport systems: A literature review. *Transportation Research B*, 77:38–75, 2015.

O.J. Ibarra-Rojas y J.C. Muñoz. Synchronizing different transit lines at common stops considering travel time variability along the day *Transportmetrica A: Transportation Science*, 12(8):751–769, 2016.



# Aprendizaje automático binivel: Una revisión bibliográfica

Martha-Selene Casas-Ramírez<sup>1</sup> \*, Alejandro Rosales-Pérez<sup>1</sup>, Salvador García<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Matemáticas Unidad Monterrey, Apodaca, Nuevo León.

<sup>2</sup>Universidad de Granada, Granada, España.

\* Correo electrónico: martha.casas@ciimat.mx

**Palabras clave** — Aprendizaje Automático, AutoML, Búsqueda de arquitecturas, Optimización de Hiperparámetros, Programación Binivel

El aprendizaje automático (ML, por sus siglas en inglés) es una disciplina que ha tenido un gran impacto en muchos campos, como la medicina, la astrofísica y la óptica, entre otros. A pesar del éxito, la investigación de ML aún está en curso, con avances sustanciales en la última década. Una estrategia que se ha implementado en ML en los últimos años es la programación binivel (BP, por sus siglas en inglés). Los problemas de BP son aquellos donde existe un problema de programación matemática en el cual dentro de las restricciones existe otro problema de programación matemática; es decir, existen dos problemas relacionados que tienen una jerarquía. El enfoque de utilizar BP en ML tiene varias ventajas, una de ellas es que el problema resultante permite una búsqueda sistemática eficiente de un gran número de hiperparámetros, y otro beneficio es que permite el tratamiento sistemático de modelos basados en funciones de pérdida populares utilizadas para máquinas de soporte vectoriales (SVM, por sus siglas en inglés) y métodos kernel con muchos hiperparámetros. Además, BP es hoy en día esencial en el diseño de métodos de AutoML y búsqueda de arquitecturas neuronales. Es por esto que varios autores han implementado esta estrategia ML-BP, para más información ver Liu et al (2020), Okuno y Takeda (2020), Mounsaveng et al (2021), Han et al (2021), Toolabi Moghadam et al (2022).

En este trabajo se propone una clasificación de los trabajos existentes de BP en ML, así como un análisis del rigor matemático con el que se propone y resuelve el modelo de BP. Además, veremos el avance más actual de esta estrategia, así como algunos desafíos.

## Referencias

Liu, R., Chen, Q., Yao, Y., Fan, X., y Luo, Z. Location-aware and regularization-adaptive correlation filters for robust visual tracking. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 32(6): 2430-2442, 2020.

Okuno, T., y Takeda, A. Bilevel optimization of regularization hyperparameters in machine learning. *Bilevel Optimization: Advances and Next Challenges*, 169-194, 2020.

Mounsaveng, S., Laradji, I., Ben Ayed, I., Vazquez, D., Pedersoli, M. Learning data augmentation with online bilevel optimization for image classification. In *Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision*, 1691-1700, 2021.

Han, Y. N., Liu, J. W., Xiao, B. B., Wang, X. T., Luo, X. L. Bilevel Online Deep Learning in Non-stationary Environment. In *Artificial Neural Networks and Machine Learning-ICANN 2021: 30th International Conference on Artificial Neural Networks, Bratislava, Slovakia, September 14-17, 2021, Proceedings, Part II* 30, Springer International Publishing, 347-358, 2021.

Toolabi Moghadam, A., Soheyli, F., Sanei, S., Akbari, E., Khorramdel, H., Ghadamyari, M. Bi-level optimization of the integrated energy systems in the deregulated energy markets considering the prediction of uncertain parameters and price-based demand response program. *Energy Science and Engineering*, 10(8): 2772-2793, 2022.



# A solution algorithm for optimizing the kidney paired donation process in Mexico

Diana L. Huerta-Muñoz<sup>1</sup> \*, Roger Z. Ríos-Mercado<sup>1</sup>, Homero Zapata-Chavira<sup>2</sup>, Javier García-García<sup>3</sup>, Aczel Sánchez-Cedillo<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Matemáticas Unidad Monterrey, Apodaca, Nuevo León.

<sup>2</sup>Universidad de Granada, Granada, España.

\* Correo electrónico: martha.casas@ciimat.mx

**Palabras clave** — Aprendizaje Automático, AutoML, Búsqueda de arquitecturas, Optimización de Hiperparámetros, Programación Binivel

El aprendizaje automático (ML, por sus siglas en inglés) es una disciplina que ha tenido un gran impacto en muchos campos, como la medicina, la astrofísica y la óptica, entre otros. A pesar del éxito, la investigación de ML aún está en curso, con avances sustanciales en la última década. Una estrategia que se ha implementado en ML en los últimos años es la programación binivel (BP, por sus siglas en inglés). Los problemas de BP son aquellos donde existe un problema de programación matemática en el cual dentro de las restricciones existe otro problema de programación matemática; es decir, existen dos problemas relacionados que tienen una jerarquía. El enfoque de utilizar BP en ML tiene varias ventajas, una de ellas es que el problema resultante permite una búsqueda sistemática eficiente de un gran número de hiperparámetros, y otro beneficio es que permite el tratamiento sistemático de modelos basados en funciones de pérdida populares utilizadas para máquinas de soporte vectoriales (SVM, por sus siglas en inglés) y métodos kernel con muchos hiperparámetros. Además, BP es hoy en día esencial en el diseño de métodos de AutoML y búsqueda de arquitecturas neuronales. Es por esto que varios autores han implementado esta estrategia ML-BP, para más información ver Liu et al (2020), Okuno y Takeda (2020), Mounsaveng et al (2021), Han et al (2021), Toolabi Moghadam et al (2022).

En este trabajo se propone una clasificación de los trabajos existentes de BP en ML, así como un análisis del rigor matemático con el que se propone y resuelve el modelo de BP. Además, veremos el avance más actual de esta estrategia, así como algunos desafíos.

## Referencias

Liu, R., Chen, Q., Yao, Y., Fan, X., y Luo, Z. Location-aware and regularization-adaptive correlation filters for robust visual tracking. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 32(6): 2430-2442, 2020.

Okuno, T., y Takeda, A. Bilevel optimization of regularization hyperparameters in machine learning. *Bilevel Optimization: Advances and Next Challenges*, 169-194, 2020.

Mounsaveng, S., Laradji, I., Ben Ayed, I., Vazquez, D., Pedersoli, M. Learning data augmentation with online bilevel optimization for image classification. In *Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision*, 1691-1700, 2021.

Han, Y. N., Liu, J. W., Xiao, B. B., Wang, X. T., Luo, X. L. Bilevel Online Deep Learning in Non-stationary Environment. In *Artificial Neural Networks and Machine Learning-ICANN 2021: 30th International Conference on Artificial Neural Networks*, Bratislava, Slovakia, September 14-17, 2021, *Proceedings, Part II* 30, Springer International Publishing, 347-358, 2021.

Toolabi Moghadam, A., Soheyli, F., Sanei, S., Akbari, E., Khorramdel, H., Ghadamyari, M. Bi-level optimization of the integrated energy systems in the deregulated energy markets considering the prediction of uncertain parameters and price-based demand response program. *Energy Science and Engineering*, 10(8): 2772-2793, 2022.





# Análisis del tránsito vehicular en función de la nueva estación Santa Fé del tren interurbano Toluca-Ciudad de México; 2023

Guillermo Fragozo Ovando1\* y Esther Segura Perez, 2

1, Dpto. de Sistemas, Posgrado de Ingeniería, FI, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

2 Dpto. de Ingeniería Industrial, DIMEI, FI, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Correo electrónico: memofravo\_14@hotmail.com

**Palabras claves** — Congestión vial, Movilidad Urbana, Software de simulación vehicular

En el presente trabajo, se aborda el problema del crecimiento del parque vehicular y la congestión vial en la Ciudad de México, centrándose específicamente en la zona de Santa Fé. Con el aumento de la oferta de trabajo y estudio en esta área, los tiempos de traslado en horas pico se han incrementado considerablemente, generando problemas de movilidad y pérdida de recursos. La falta de accesibilidad a la zona y la obstrucción de las vías de acceso, especialmente en caso de accidentes u otros incidentes, impactan no solo a Santa Fe, sino también a vías importantes.

La nueva estación "Santa Fe" del tren interurbano Toluca-Ciudad de México se presenta como una potencial solución para mejorar la movilidad en la zona. Sin embargo, hasta el momento no se han realizado estudios considerando el tránsito vehicular en esta área específica, lo que dificulta la identificación de las necesidades y posibles alternativas para mejorar el flujo vehicular.

El objetivo principal de esta investigación es analizar cómo será el tránsito vehicular en función de la nueva estación Santa Fe del tren interurbano Toluca-Ciudad de México en el año 2023. Se justifica la necesidad de llevar a cabo estudios diagnósticos y proyecciones futuras utilizando técnicas de simulación. Estas herramientas permitieron evaluar los beneficios y las repercusiones que la implementación de un nuevo medio de transporte tendría en la movilidad de vehículos y personas.

Con la realización de un diagnóstico situacional y el uso de simulaciones, se obtuvo una visión integral de la movilidad en la estación Santa Fé. Se recopiló información documental existente sobre la demanda y oferta de los vehículos que interactúan en el sistema vial de la zona. Posteriormente, se desarrollaron modelos de simulación micro utilizando el software Synchro 8 para proyectar el tránsito vehicular en función de la nueva estación del tren interurbano. Estos modelos permitieron evaluar los flujos vehiculares a cinco años en la zona de Santa Fé y se determinaron medidas para mejorar la movilidad y reducir los efectos negativos en la calidad de vida de las personas.

El diseño metodológico del estudio es transversal, prospectivo y analítico. Se utilizaron muestreos probabilísticos para seleccionar los vehículos que formaron parte del estudio, y se recolectaron datos para su posterior análisis.

En resumen, este estudio busca abordar los problemas de congestionamiento vial en la zona de Santa Fe, Ciudad de México, y analizar cómo la nueva estación del tren interurbano Toluca-Ciudad de México afectará el tránsito vehicular en la zona en el año 2023. La realización de estudios diagnósticos y simulaciones permitirá evaluar los impactos y tomar medidas para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos en términos de movilidad y reducción de efectos negativos relacionados con el aumento de la contaminación, la inversión de tiempo y el estrés.

De tres estaciones analizadas en la situación actual podemos determinar que se aprecia interacción frecuente entre vehículos y peatones, por lo que se analiza cada una evaluando los diferentes flujos.

En la intersección más cercana al proyecto se maneja un indicador de nivel de servicio D, de acuerdo a los estándares dados por el Highway Capacity Manual, lo que representa una circulación de densidad elevada pero estable, la velocidad y libertad de maniobra quedan seriamente restringidas y el conductor experimenta un nivel general de comodidad y conveniencia bajo.





En la intersección donde se interactúa con peatones, se da un nivel de servicio B, donde los vehículos continúan circulando a flujo libre, aunque a partir de este punto se vuelve más notoria la presencia de otros vehículos en la vía. Las velocidades medias de viaje en este nivel son las mismas presentadas en el nivel “A” aunque los conductores ya no gozan de la misma libertad para maniobrar. Los incidentes o averías menores de un vehículo aún son absorbidos con cierta facilidad, aunque sus consecuencias son más notorias.

Mientras que en la última intersección cercana al poniente y salida del centro comercial, el nivel de servicio es E lo que significa que, el funcionamiento se da en condiciones muy cercanas a la capacidad de la vía. La velocidad está seriamente restringida y la circulación se vuelve altamente inestable. Los incidentes menores no se pueden disipar rápidamente y se pueden formar colas que provoquen una caída al nivel de servicio F.

Siempre será necesario implementar medidas de mitigación, motivo por el cual es de gran utilidad el contar con un estudio de análisis de tránsito como el realizado en el presente estudio.

## **Referencias**

Synchro,



# Asset Selection and Portfolio Optimization using a Multi-Objective Evolutionary Algorithm

Carlos Rodríguez Contreras<sup>1</sup> \* and Katya Rodríguez V´azquez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas Universidad Nacional Autónoma de México

\* e-mail: crc@unam.mx

## Abstract

This paper reports an experiment that applies a Multi-Objective Evolutionary Algorithm to select assets from the 505 equities of the S&P 500 Index and assign the weights of each of the chosen equities to thus build an optimized portfolio.

Portfolio allocation is one of the major problems faced in Finance. The crucial task in this industry is to find the ideal portfolio allocation, a job known as Portfolio optimization, which involves the selection of different assets to invest in, in order to maximize the overall return and minimize the overall risk simultaneously.

It is well known that the classical Markowitz's framework neglects the intricacies of real-life portfolio management, resulting in simple portfolio optimization models that could be easily solved using a traditional method such as Quadratic Programming to produce what is believed to be an optimal portfolio.

The financial market behaviour causes the portfolio management process to become a complex task, making it clear that Portfolio Optimization needs to be solved according to its very nature as a multi-objective problem. Advances in Operations Research and Computer Science have produced new solutions to this portfolio optimization problem, among them, Evolutionary Algorithms (EA) have produced some acceptable results (Gilli, et al., 2021). Using EAs to solve the assets allocation problem has become a trend in academia. Authors have done experiments with Evolutionary Algorithms such as Particle Swarm Optimization and Differential Evolution.

More recently, with the development of Multi-Objective Evolutionary Algorithms (MOEAs), research in Finance has focused on using such algorithms for the portfolio optimization problem.

This research involves a contribution to the field of Multi-objective Evolutionary Algorithms for Portfolio Optimization. A MOEA is reviewed with the aim of studying its efficiency in producing optimal portfolios.

To carry out this study, the time series of all the assets that make up the S&P 500 Index are retrieved. The MOEA algorithm is supposed to select the assets that produce an efficient portfolio. The resulting portfolio is compared with the S&P Index using the Sharpe Ratio as a portfolio qualifier. The study shows the differences found in the two portfolios in terms of their Sharpe Ratios.

**Keywords:** Modern Portfolio Theory, Multi-Objective Evolutionary Algorithms, Portfolio Optimization.

## References

Manfred Gilli, Dietmar Maringer, Enrico Schumann. Numerical Methods and Optimization in Finance. Academic Press, 2019.

Pengxiang Zhao, Naxin Yang, Sharon Gao. An MOEA/D-Based Strategy for Multi-Objective Portfolio Optimization in Capital Markets. Authorea, September 10, 2020

XI Congreso de la Sociedad Mexicana de Investigación de Operaciones

XI CSMIO

Universidad de las Américas Puebla

18, 19 y 20 de octubre de 2023



# Evaluación multicriterio de la red de refugios temporales en el Estado de México

Jenaro Nosedal Sánchez<sup>1</sup> , Lourdes Loza Hernández<sup>2</sup> , Marlenne Cruz Romero<sup>3</sup> , y Javier García Gutiérrez<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Global Spatial Technology Solutions, Dartmouth, Nova Scotia, Canadá <sup>2</sup>Coordinación de Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México <sup>3</sup>Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, Jocotitlán, México.

\* Correo electrónico: jgarciag@uaemex.mx

**Palabras claves** — Red de refugios temporales; Proceso de Jerarquía Analítica; análisis multicriterio; Logística Humanitaria

Este trabajo se evalúa el nivel de conveniencia de la existente red de refugios temporales en el Estado de México, derivado de la necesidad de contar con un procedimiento y herramientas que permitan identificar los niveles de eficiencia con el que podrían apoyar procesos de salvaguarda de la población ante el indeseable evento de un desastre natural, tal como una inundación. La motivación nace en que cada vez es mayor el número, así como mayores son las magnitudes de los desastres naturales que ocurren en este país como consecuencia del cambio climático, y en las que, generalmente aquellas zonas de mayor vulnerabilidad se encuentran asociadas con la población de menores recursos. En este sentido se hace imperativo la realización de proyectos que busquen mitigar los efectos indeseables a este sector desprotegido de la población.

Para este análisis se parte de la información existente del Atlas de Riesgos del Estado de México [1] acerca de la red de refugios temporales. Esta red consiste en instalaciones bajo la administración de alguno de los tres niveles de gobierno, o bien, instalaciones privadas, que han sido establecidas para este fin. La cantidad de instalaciones y sus capacidades deben ser evaluadas de manera tal que se pueda garantizar que pueden brindar el soporte a la población más expuesta al riesgo, ante la ocurrencia de algún fenómeno de desastre. En este trabajo se desarrolla un esquema de evaluación multicriterio, donde se adoptan métricas adecuadas al contexto de decisiones de esta región. Los refugios temporales son infraestructuras destinadas a garantizar la seguridad de las personas evacuadas ante un evento de desastre, y que deben contar con capacidad para proporcionar alimentos, alojamiento y, en su caso, atención médica a las personas afectadas. En la práctica, se ha detectado que los criterios de selección únicamente consideran dimensiones y ubicaciones de los sitios.

El diseño de una red de refugios temporales debe ser determinado a partir del garantizar el número suficiente de los mismos, y a la adecuada ubicación y distribución de la población en riesgo, así como también de la ayuda humanitaria. Es evidente que los recursos destinados para este fin son bastante limitados, y, por lo tanto, es ideal lograr el mayor nivel de cobertura con los pocos recursos disponibles. El uso de herramientas multicriterio permite involucrar distintas métricas de evaluación lo que resulta de gran ayuda para identificar a aquellas en las que se detecten mayores áreas de oportunidad. La herramienta Proceso de Jerarquización Analítica (PJA) [2] es una de las herramientas más utilizadas para el manejo de escenarios de decisión multicriterio, los cuales, han sido aplicados con éxito en actividades de Logística Humanitaria [3; 4; 5; 6; 7].

Para el análisis multicriterio se consideraron elementos tales como: historial de eventos, características y elementos físicos de los sitios, su valoración estructural, y aspectos relativos al entorno de las mismas instalaciones en el sentido de brindar mayor o menor nivel de seguridad. Después de la aplicación del PJA con expertos en temas de investigación en Logística Humanitaria, se concluyó que la jerarquía de los criterios sigue el siguiente orden: 1 Entorno (46.5%), 2 Valoración estructural (37.5%), 3 Distancia (10.0%), 4 Afectación a la red (6.0%)





Finalmente se aplicaron estas ponderaciones para evaluar cada albergue de la red del Estado de México a través de un Sistema de Información Geográfica, detectando así una valoración de los albergues, con lo cual, a partir de estos resultados es posible, a través de elementos cuantitativos, presentar las recomendaciones a las autoridades encargadas de la administración del Estado de México respecto a la infraestructura actual considerada para este fin.

## Referencias

- [1] D. G. del P. Hidráulico, “ATLAS DE INUNDACIONES XXIX 2023,” p. 46, 2023. [Online]. Available: <https://caem.edomex.gob.mx/sites/caem.edomex.gob.mx/files/files/AtlasInundaciones/Atlas2023/VersionEjecutivaAtlasXXIX2023.pdf>
- [2] T. L. Saaty, “How to make a decision: The analytic hierarchy process,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 48, no. 1, pp. 9–26, 1990.
- [3] T. Xifeng, Z. Ji, and X. Peng, “A multi-objective optimization model for sustainable logistics facility location,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 22, pp. 45–48, 2013.
- [4] S. M. A. Hosseini, A. de la Fuente, and O. Pons, “Multicriteria decision-making method for sustainable site location of post-disaster temporary housing in urban areas,” *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 142, no. 9, p. 4016036, 2016.
- [5] J. Xu, X. Yin, D. Chen, J. An, and G. Nie, “Multi-criteria location model of earthquake evacuation shelters to aid in urban planning,” *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, vol. 20, pp. 51–62, 2016.
- [6] S. Geng, H. Hou, and S. Zhang, “Multi-criteria location model of emergency shelters in humanitarian logistics,” *Sustainability*, vol. 12, no. 5, p. 1759, 2020.
- [7] C. Mejia-Argueta, J. Gaytán, R. Caballero, J. Molina, and B. Vitoriano, “Multicriteria optimization approach to deploy humanitarian logistic operations integrally during floods,” *Int. Trans. Oper. Res.*, vol. 25, no. 3, pp. 1053–1079, 2018



# Asignación de horarios en transporte público considerando retenciones de vehículos y funciones de sincronización gradual

M. Victoria Chávez-Hernández,<sup>1</sup> \* , J. Omar Ibarra-Rojas<sup>1</sup> y Mayra G. Leija-Hernández<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

\* Correo electrónico: maria.chavezh@uanl.edu.mx

**Palabras claves** — Transporte público, Simulación, Asignación de horarios, Sincronización, Programación entera

El proceso de planificación de la red de tránsito se divide en varias etapas: decisiones estratégicas (largo plazo), tácticas (mediano plazo) y operativas (corto plazo). El presente trabajo se centra en determinar los horarios de salida de los vehículos de transporte de diferentes líneas de tránsito con el objetivo de minimizar el tiempo de transbordo de los usuarios en el sistema de transporte. Nuestro caso de estudio se basa en el Sistema de Transporte Metrorrey en Monterrey, México, el cual considera dos líneas de metro y un sistema de buses alimentadores, que consta de diez líneas, llamado TransMetro. Uno de los problemas que presenta este servicio es el tiempo que tardan los usuarios en trasladarse del TransMetro al metro y viceversa, lo que provoca una acumulación de muchas personas esperando en las paradas donde se integran ambos servicios. Esto último genera molestias a los usuarios del servicio de Metrorrey.

En la literatura, se implementan diferentes técnicas de coordinación o sincronización para minimizar los tiempos de transferencia en los sistemas de transporte debido a que es una de las métricas de satisfacción de los pasajeros que cobra mayor importancia en casos de clima adverso, mala infraestructura y condiciones inseguras (por ejemplo, transbordos nocturnos). El estudio de Liu et al. (2021) presenta una revisión bibliográfica reciente de la coordinación de transferencias en la fase táctica en la planificación del transporte público, donde un enfoque popular es maximizar los eventos de sincronización para fomentar transferencias fluidas con tiempos de espera adecuados. Existen diferentes enfoques para definir un evento de sincronización; por ejemplo, llegadas simultáneas (Ceder et al. (2001)), llegadas por parejas con un tiempo de separación acotado (Eranksi (2004)) y llegadas por parejas con un tiempo de separación acotado pero considerando la dirección (?).

En este trabajo extendemos la definición de Ibarra-Rojas y Ríos-Solís (2012) de eventos de sincronización en términos de la hora de llegada del viaje alimentador y la hora de salida del viaje de destino, considerando los tiempos de espera, así como los tiempos de transferencia mínimos y máximos. La figura 1 muestra un ejemplo de un evento de sincronización exitoso para pasajeros que se transfieren de la línea A a la línea B, suponiendo un tiempo de transferencia entre 5 y 10 minutos. El eje horizontal es la hora en la parada de transbordo. Vemos que el vehículo de la línea A (B) llega a la estación a las 8:05 a. m. (8:11 a. m.) y continúa su viaje a las 8:05 a.m. (8:13 a. m.). Luego, los pasajeros tienen un tiempo total de 8 minutos para realizar un transbordo.

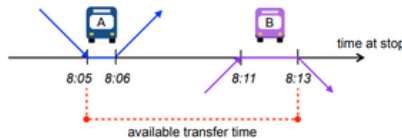


Figura 1: Ejemplo de parcial solución de sincronizados arribos/salidas para optimizar transferencias desde TransMetro al metro.





Presentamos un problema de sincronización de horarios de autobuses basado en lo anterior, considerando las decisiones de espera en las paradas de transferencia. Nuestro problema de optimización determina las horas de salida de cada vehículo de tránsito de modo que el tiempo que toma hacer esa transferencia esté dentro de un rango conveniente para el pasajero. Además, se determina el tiempo que los buses alimentadores deben esperar en las estaciones para realizar la mayor cantidad de trasbordos. Finalmente, los eventos de sincronización planificados pueden perderse durante el día operativo debido a la variabilidad del tiempo de viaje; por ejemplo, perdemos el evento de transbordo de la figura 1 si la línea B se retrasa 2.5 minutos y se retiene durante 2 minutos. Por lo cual, proponemos modelos alternativos para disminuir el efecto negativo de la variabilidad del sistema sobre las soluciones planificadas.

## Referencias

- [A. Ceder, B. Golany, y O. Tal. Creating bus timetables with maximal synchronization. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35(10):913–928, 2001.
- A. Eranki. A model to create bus timetables to attain maximum synchronization considering waiting times at transfer stops. Master thesis, University of South Florida, 2004.
- O. Ibarra-Rojas y Y. Rios-Solis. Synchronization of bus timetabling. *Transportation Research B*, 46(5):599–614, 2012.
- T. Liu, O. Cats, y Gkiotsalitis. A review of public transport transfer coordination at the tactical planning phase. *Transportation Research C*, 133(103450):1–26, 2021.



# The Contact Center Best Time to Call Problem

David C. Moreno<sup>1</sup> \* , D. Vargas-Romero<sup>2</sup> , C.O. Lopez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Mexico City, Mexico <sup>2</sup> Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, Mexico City, Mexico.

\* Corresponding author: chaffrey@ciencias.unam.mx

**call center, contact rates, artificial intelligence**— Call Center, Contact Rates, Artificial Intelligence

Call centers are organizations that use telephones as their main channel of communication with customers, prospects, or debtors. Depending on the purpose of the call, different dialing strategies can be applied to optimize the contact rate and the performance of the agents.

In the past, call center agents had to manually dial each phone number in their portfolio, which was time-consuming and inefficient. With the advancement of technology, programs were developed to make calls automatically through computers and transfer them to an agent once they were connected. This improved the productivity and quality of the calls, but also introduced new challenges, such as predicting the availability of agents and avoiding abandoned calls.

Later, algorithms were studied to optimize the contact rate with the dialed numbers, taking into account factors such as the time of day, the number of attempts, and the probability of success. These algorithms used statistical models or machine learning techniques to estimate the best time and frequency to call each number. However, these algorithms did not consider the characteristics and preferences of the customers or debtors, nor the objectives and constraints of the call center.

Currently, artificial intelligence engines have been incorporated to design dialing strategies that obtain better results. These engines use advanced methods such as reinforcement learning, natural language processing, and sentiment analysis to learn from data and feedback, and to adapt to different scenarios and situations. They also take into account the human factors involved in the communication process, such as emotions, personality, and persuasion.

The work describes a methodology to approach the problem mentioned above and presents results of test phases of this methodology carried out in different call centers dedicated to collection and marketing in Mexico. The methodology consists of four steps: data collection and preprocessing, dialing strategy design and implementation, evaluation and analysis, and feedback and improvement. The results show that the methodology can improve the contact rate, the conversion rate, and the customer satisfaction in different types of call centers.

## References

Fukunaga, A., Hamilton, E., Fama, J., Andre, D., Matan, O., & Nourbakhsh, I. Staff scheduling for inbound call and customer contact centers. *Ai Magazine*, 23(4):30–30, 2002.

Wagner, J. Adaptive contact strategies in a telephone survey. In *Proceedings of the Federal Committee on Statistical Methodology (FCSM) Research Conference*. (2009).

Bollapragada, S., & Nair, S. K. Improving right party contact rates at outbound call centers. *Production and Operations Management*, 19(6), 769-779. (2010)





# Optimización de la calendarización de imprenta para una casa editorial

Juan Lucio Rojas<sup>1</sup> \*, Axel Quiroga Caldera<sup>1</sup>, Luis Navarro Saucedo<sup>1</sup>, Avril Ruiz Martínez<sup>1</sup>, Juan Sada San José<sup>1</sup>, y Fernando Elizalde Ramírez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería y Ciencias, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, Nuevo León.

\* Correo electrónico: angeluciomty83@gmail.com

**Palabras claves** — Scheduling, Just In Time, Programación entera mixta

Las empresas se enfrentan con la necesidad de mejorar sus sistemas de producción para lograr un mejor aprovechamiento de sus recursos, lo cual genera un mayor beneficio económico. Las técnicas matemáticas, como la optimización, proporcionan una base para resolver problemas que involucren múltiples variables, y los problemas físicos pueden ser modelados mediante ecuaciones matemáticas (Shankar, R. y Bajpai, V., 2020). El presente trabajo plantea una propuesta matemática para resolver un problema de scheduling aplicado en una editorial, teniendo por objetivo maximizar la utilidad del proceso de imprenta.

Para ello se deben tomar en cuenta múltiples factores, como el uso de proveedores, tiempos de producción, fechas de entrega, la demanda de los distintos libros a producir y sus costos. Se propone un modelo de programación lineal que maximiza la utilidad, sujeto a las restricciones de fechas, cantidad y capacidad de producción, utilizando el método Just in Time para reducir costos de inventario (Badillo, K. y Cetre-Nolivos, K., 2018), y programación entera mixta para su solución.

El modelo toma en cuenta un total de 27 libros a imprimir, dirigidos a distintos mercados y áreas, cada uno con sus costos, precio de venta y demanda asociada, así como las fechas desde que se puede comenzar la impresión hasta la entrega de los mismos. Un punto importante para la metodología es que dichas fechas podían abarcar distintos periodos para cada libro, desde marzo de 2023 hasta octubre de 2024, por lo que se dividieron estos días en 16 periodos de 5 semanas en los que se pueden producir los libros, los cuales disminuyen en gran medida la complejidad del problema, pasando de tener más de sesenta mil variables a menos de dos mil, dado que no se trabaja con variables basadas en días. Asimismo, se planteo un modelo que considera una cantidad  $k$  de proveedores (en este caso 3) para satisfacer la demanda.

Planteado así, el algoritmo tiene una factibilidad alta, ya que el modelo matemático es aplicable a cualquier cambio en el plan de imprenta de la empresa, y con una necesidad baja de recursos a utilizar. Los resultados muestran un modelo flexible, escalable a distintas empresas, que crea un plan de producción por periodo de demanda para cada proveedor, así como la obtención de un listado de los diversos gastos de inventario y de penalización, junto con la utilidad máxima. Es de baja complejidad computacional, ya que al hacer pruebas en el software GAMS (General Algebraic Modeling System) con una computadora personal, se obtuvieron tiempos menores a 0.3 segundos. Finalmente, al modelo se le pueden agregar otras áreas como la logística, ya sea dentro del mismo o en uno aparte. Nuestra propuesta genera un impacto positivo no solo en el ámbito económico de la empresa, sino en su reputación, agilizando el trabajo que conlleva hacer un plan de producción óptimo para aumentar la satisfacción del cliente, mejorando la metodología para la toma de decisiones. Además de una base para futuras investigaciones y proyectos relacionados.





Presentamos un problema de sincronización de horarios de autobuses basado en lo anterior, considerando las decisiones de espera en las paradas de transferencia. Nuestro problema de optimización determina las horas de salida de cada vehículo de tránsito de modo que el tiempo que toma hacer esa transferencia esté dentro de un rango conveniente para el pasajero. Además, se determina el tiempo que los buses alimentadores deben esperar en las estaciones para realizar la mayor cantidad de trasbordos. Finalmente, los eventos de sincronización planificados pueden perderse durante el día operativo debido a la variabilidad del tiempo de viaje; por ejemplo, perdemos el evento de transbordo de la figura 1 si la línea B se retrasa 2.5 minutos y se retiene durante 2 minutos. Por lo cual, proponemos modelos alternativos para disminuir el efecto negativo de la variabilidad del sistema sobre las soluciones planificadas.

## Referencias

Karino Badillo Carrasco y Karen Cetre-Nolivos. Uso de la metodología “Justo a tiempo” en las empresas de servicios Observatorio de la Economía Latinoamericana, 2018.

Ravi Shankar Rai y Vivek Bajpai. Optimization in Manufacturing Systems Using Evolutionary Techniques Optimization of Manufacturing Processes, 201–229. Springer International Publishing, Cham, 2020.



# Problema de asignación de horarios generalizado para una red de transporte público optimizando líneas independientes, eventos de transferencia y líneas de traslape.

Nestor M. Cid-García, 1\* Paulina A. Avila-Torres<sup>2</sup> y Omar J. Ibarra-Rojas<sup>3</sup>

1Laboratorio Nacional de Geointeligencia, CONAHCYT, – CentroGeo, Aguascalientes, Aguascalientes.

2Departamento de Administración de Empresas, Escuela de Negocios y Economía, Universidad de las Américas, Puebla, Puebla. 3Facultad de Ciencias de Físico Matemáticas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.

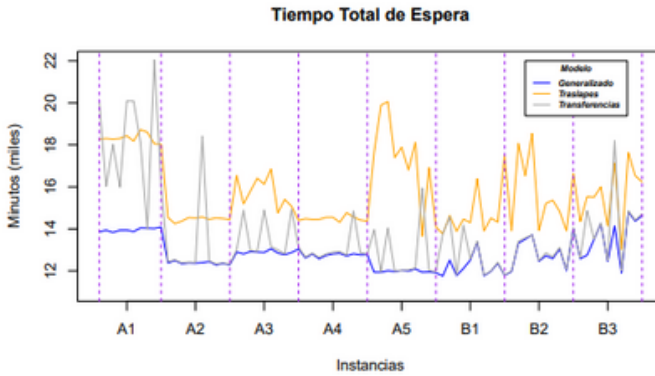
\*Correo electrónico: ncid@centrogeo.edu.mx

**Palabras claves** — Transporte público, Problema generalizado, Programación lineal entera mixta

La mayoría de las ciudades más grandes del mundo se enfrentan a problemas de movilidad urbana debido al crecimiento de la población. Un buen sistema de transporte público crea comunidades económicamente prósperas, ayuda a expandir las oportunidades comerciales y también reduce la congestión vial, los tiempos de viaje, la contaminación del aire, el consumo de energía, combustible, etc., beneficiando a toda una comunidad. En particular, un sistema de transporte público eficiente y atractivo es una necesidad básica para un país densamente poblado y esa eficiencia se puede lograr mediante la integración de diferentes modos de transporte y una operación adecuada. La coordinación de los diferentes modos de transporte se da en tres niveles: institucional, operativo y físico; la cual afecta el costo operativo y el nivel de servicio. Así, el atractivo del transporte público depende de los servicios ofrecidos por las agencias de transporte público, pero también de las terminales y las condiciones de transferencia a lo largo de la red de tránsito. La planificación y operación de los sistemas de transporte público es una herramienta para mejorar las condiciones para fomentar la sostenibilidad de la movilidad urbana.

La planificación en un sistema de transporte público se divide en etapas, que generalmente se resuelven en secuencia: diseño de la red, establecimiento de frecuencias, cronograma, programación de vehículos y programación de tripulaciones. En particular, el diseño de la red determina el conjunto de líneas y la frecuencia de cada ruta; la configuración de frecuencia calcula el número de viajes para períodos de planificación específicos; la etapa de horarios define los horarios de salida de cada viaje para optimizar el nivel de servicio; la programación de vehículos asigna autobuses a los viajes; y la programación de tripulación asigna tripulaciones a viajes minimizando los salarios de los conductores. En este estudio, nos centraremos en un problema generalizado de horarios para sincronizar las líneas de una red de transporte público para reducir los tiempos de espera de los pasajeros optimizando líneas independientes, eventos de transferencia y líneas de traslape. La Figura 1 muestra algunos resultados experimentales preliminares en los que se observa que el modelo generalizado (línea azul) disminuye los tiempos totales de espera de los pasajeros, en comparación con optimizar traslapes (línea naranja) o transferencias (línea gris) de manera independiente.





## Referencias

O.A. Nielsen, M. Eltved, M.K. Anderson, y C.G. Prato. Relevance of detailed transfer attributes in large-scale multimodal route choice models for metropolitan public transport passengers. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 147, 76–92, 2021.

O. Ibarra-Rojas, F. Delgado, R. Giesen, y J. Muñoz. Planning, operation, and control of bus transport systems: A literature review. *Transportation Research Part B: Methodological*, 77, 38–75, 2015.

Y. Wang, Y. Zhou, y X. Yan. Autonomous bus timetable synchronization for maximizing smooth transfers with passenger assignment. *Expert Systems with Applications*, 193, 116430, 2022.

# Implementación del problema generalizado de diseño de horarios de un sistema de transporte de autobuses, caso de estudio en Chile

Antonio de J. Gómez-Aviña, y Omar J. Ibarra-Rojas

Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México.

\* Correo electrónico: antonio.gomezv95@gmail.com, omar.ibarrarj@uanl.edu.mx

**Palabras claves** — Diseño de horarios, Transporte público, Optimización

**Resumen:** La planeación de un sistema de transporte de autobuses es una herramienta utilizada para conseguir eficiencia en movilidad urbana. En particular, sincronizar diferentes líneas en paraderos comunes puede incrementar el nivel de servicio en sistemas de tránsito, particularmente para diferentes líneas en segmentos de rutas entrelazadas o paraderos comunes (por ejemplo, líneas ramificadas y líneas con paraderos limitados) y estaciones de transferencia (o zonas). En este estudio, estamos interesados en problemas generales de diseño de horarios para coordinar una red de tránsito. De manera particular, implementamos un problema nuevo de diseño de horarios para minimizar tiempos de espera para eventos de transferencia y líneas entrelazadas. Utilizamos programación entera-mixta para modelar el problema e implementar un solver comercial en una red de tránsito de Chile.

En este caso de estudio tomamos en cuenta una red con dos líneas diferentes cuyos autobuses necesitan ser sincronizados en 5 paraderos comunes de una red de tránsito de 13 paraderos en total por línea. Se está considerando como periodo de planeación 120 minutos (2 horas) así como una frecuencia de viajes de 6 viajes en dicho periodo de planeación.

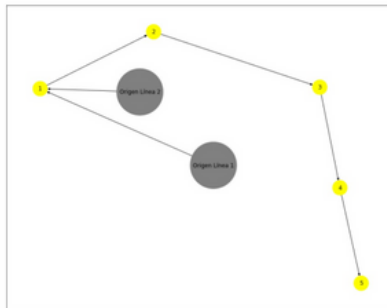


Figura 1: Red de tránsito de 2 líneas diferentes





La 1 muestra la red de tránsito que se está tomando para este caso de estudio. Los nodos en color amarillo se refieren a los nodos en donde debe ocurrir la sincronización adecuada de autobuses. Los resultados numéricos obtenidos muestran el impacto de herramientas que apoyan la toma de decisiones en la planeación de red de tránsito.

## Referencias

O.J. Ibarra-Rojas, F. Delgado, R. Giesen y J.C. Muñoz. Planning, operation, and control of bus transport systems: A literature review. *Transportation Research B*, 77:38–75, 2015.

O.J. Ibarra-Rojas y J.C. Muñoz. Synchronizing different transit lines at common stops considering travel time variability along the day *Transportmetrica A: Transportation Science*, 12(8):751–769, 2016.



# Logística de puntos de distribución para comercio electrónico en la última milla

Luis Eduardo García Gomez, 1\* y Giovanni Lizárraga Lizárraga2

1Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.

2Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.

\* Correo electrónico: suil333@hotmail.com

**Palabras claves** — Q-Commerce, Logística, Última milla

El internet se ha vuelto un componente integral de nuestra vida cotidiana, impulsando así el crecimiento del comercio electrónico. Las restricciones de movilidad ocasionadas por la pandemia de COVID-19, que interrumpieron nuestras rutinas habituales e incluso nos mantuvieron en casa, provocaron una transformación significativa en el comportamiento de los consumidores, desplazando las compras de alimentos a plataformas digitales (Muller-Sarmiento, 2021). Este cambio dio lugar a una nueva generación de empresas en el sector de las compras en línea de abarrotes. Estas entidades emergentes, también denominadas empresas de comercio rápido o Q-commerce, han tenido que adaptarse a este nuevo escenario. Entre los ajustes necesarios, destaca la importancia de la ubicación estratégica de sus centros de distribución para poder satisfacer la demanda y cumplir con uno de los principales principios del Q-commerce: la entrega al cliente en menos de una hora (Arifah y Samopa, 2022).

Dado que este es un modelo de negocio novedoso, aún no existe un método concreto que guíe a las empresas para optimizar la ubicación de sus centros de distribución. Por ello, en este trabajo en proceso se propone un método que las empresas pueden utilizar para llevar a cabo dicha tarea de la forma más efectiva posible. El método propuesto hace uso de herramientas como Python y el servicio Distance Matrix de Google Maps.

## Referencias

Arifah, S. E., I.D.C. y F. Samopa, Quick-commerce applied to the wholesaler's market in Portugal the case of Recheio Express, 2022.

Muller-Sarmiento 2021, The convenience megatrend accelerates quick commerce, Roland Berger, 2021



# Stable matching in the case of imprecise preferences

Nancy M. Arratia Martinez,<sup>1</sup> \*

1Business Administration Department, School of Business and Economics, Universidad de las Américas Puebla, Puebla.

\* Correo electrónico: nancyamtz@gmail.com

**Palabras clave** — Matching problem, Stable matching problem, Fuzzy stable matching problem

The problem of stable matching is a widely studied problem in Mathematics and Economics. In this problem, two sets,  $M$  and  $W$ , are defined and need to be matched while ensuring stability. Although these sets are conventionally defined as men and women, the problem can be applied to other contexts.

The main goal of the stable matching problem is to define matches where the agents from one set are paired with elements from the opposite set in such a way that there are no two agents who would prefer to be matched with each other instead of their current partners (Gale y Shapley, 1962). The inputs to the problem are usually defined by the agents as ordered lists of strict preferences.

In some classical and practical applications such as matching between individuals - firms, hospitals - internships, people - jobs, there is a natural lack of knowledge given by environments where it is not possible to have complete information to describe the qualities that agents possess. This can lead to inaccuracies. In the past, some authors have studied the problem under conditions of uncertainty and imprecise information, with some approaches based on fuzzy logic.

In this work, I will present a review of various techniques from related research that incorporate fuzzy structures to address uncertainty or imprecision in the stable matching problem. A proposed technique is then discussed and applied to several numerical cases to demonstrate its applicability and practical implications. The technique is based on the use of fuzzy numbers to reflect uncertainty or imprecision.

Formally, we will discuss the implementation of the proposed fuzzy-based technique to the stable matching problem through the equivalent linear program and, in addition, some notions of the impact on the set of stable matches will be discussed.

## Referencias

D. Gale y L. S. Shapley. College Admissions and the Stability of Marriage. The American Mathematical Monthly, 69(1):9-15, 1962.





# Herramienta de Apoyo a la Decisión para Administración del Tiempo Inteligente de Estudiantes Universitarios

Mario E. Marin Limón., 1\* Julio C. Ponce Gallegos, 1\* Ángel E. Muñoz Zavala., 1\* Alejandro Padilla Díaz, 1\* Ma. Antonieta Zuloaga Garmendia,2\* J. Armando López Velarde Campa,3\*

1Centro de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma Aguascalientes. Aguascalientes, Ags. 2Centro de Investigación en Matemáticas A.C. Aguascalientes, Ags. 3Universidad Tecnológica de Aguascalientes. Aguascalientes, Ags.

\* Correos electrónicos: marin@ia.org.mx, {jponce,aemz,apadilla}@correo.uaa.mx, tony@ciamat.mx, armando.lopez@utags.edu.mx

**Palabras claves** — Algoritmos genéticos, árboles de decisión, clasificación, administración de tiempo, bienestar

Interesados en la efectividad e interpretabilidad de modelar problemas de clasificación mediante grafos para después generar un problema de optimización basado en los parámetros de éste, lo que es útil para encontrar soluciones explicables de cambio mínimo para reclasificar una instancia a una categoría más deseable, se diseñó y realizó un experimento con la participación de más de cien estudiantes de licenciatura del Centro de Ciencias Básicas de la Universidad Autónoma de Aguascalientes durante los semestres 2022-II y 2023-I para clasificarlos en distintas categorías ordinales o binarias de bienestar con respecto a distintos aspectos de sus vidas. El objetivo del experimento fue aportar evidencia de que una herramienta basada en un modelo construido con dichos algoritmos es útil para la práctica de la administración del tiempo inteligente que no solo conlleva gestionar la cantidad de tiempo asignada a diferentes actividades de acuerdo con objetivos y valores personales u organizacionales, sino balancearla también con la restricción de mantener o mejorar los niveles de bienestar de los usuarios tales como satisfacción, felicidad y niveles de agencia personal. Los resultados del experimento generaron evidencia de que la herramienta genera los resultados hipotetizados con respecto a la práctica de administración del tiempo inteligente, con alta satisfacción con la herramienta y números de estudiantes con mejora de bienestar estadísticamente significativos, lo que abre caminos a probar o implementar la herramienta en otros ambientes académicos y laborales.

La herramienta probada en el experimento fue desarrollada para la tesis doctoral “Intelligent Algorithms for Time Management and use Focused on Preserving and Enhancing Human Wellbeing” (Marin, 2023). Los atributos, o variables de las instancias, fueron seleccionados por medio de una estrategia de selección de modelo asistida por medio de algoritmos de aprendizaje máquina y búsqueda (Marin et al., 2021). Se utilizaron árboles de decisión como estructura para modelar y auditar el proceso de clasificación, y algoritmos genéticos para buscar los cambios mínimos a instancias generadas por el perfilado de los usuarios para lograr una clasificación más deseable por medio de la construcción de funciones objetivo y restricciones basadas en los parámetros del árbol de decisión (Marin et al., 2023). Con estos cambios se construyeron recomendaciones a los usuarios. Las restricciones de los algoritmos genéticos pueden ser relajadas por niveles de impureza o entropía en los nodos de los árboles de decisión de acuerdo con los requerimientos del decisor. El entrenamiento de los árboles de decisión se realizó con los microdatos de la Encuesta Nacional sobre Uso del Tiempo de INEGI, la cual contiene datos demográficos, ambientales, de uso de tiempo y de bienestar subjetivos relevantes para el propósito del experimento (INEGI, 2020).





Una evaluación técnica de la herramienta destacó el alto rendimiento de los algoritmos de clasificación basados en árboles de decisión, y de algoritmos genéticos para buscar los mínimos cambios para llevar a cabo una reclasificación de la instancia con tiempos de computación bajos de acuerdo con las intenciones de la investigación y el posible uso práctico de la herramienta. En cuanto a resultados, de acuerdo con los datos obtenidos de encuestas de retroalimentación, se han reportado incrementos en muchas de las medidas de bienestar subjetivo, y un número de usuarios significativamente mayor al esperado en experimentos con prácticas tradicionales de administración del tiempo han reportado que la herramienta les fue útil para gestionar su tiempo y mejorar su bienestar.

## Referencias

INEGI. (2020). Encuesta Nacional sobre Uso del Tiempo (ENUT) 2019. Subsistema de Información Demográfica y Social. <https://www.inegi.org.mx/programas/enut/2019/#Microdatos>

Marin, M. E. (2023). Intelligent Algorithms for Time Management and use Focused on Preserving and Enhancing Human Wellbeing [Tesis Doctoral]. Universidad Autónoma de Aguascalientes.

Marin, M. E., Ponce, J. C., Muñoz, Á. E., & Padilla, A. (2021). Peligros y ventajas del diseño de instrumentos de medición auxiliado con estrategias de selección de atributos automáticas. *Research in Computing Science*, 150(5).

Marin, M. E., Ponce-Gallegos, J. C., Muñoz-Zavala, Á. E., & Padilla-Díaz, A. (2023). Evolutive Algorithms with Restrictions Based in Decision Trees Models for the Enhancement of Satisfaction in Time use. *Research in Computer Science*, 152(5)



# Un modelo de optimización para detectar el abandono académico en mujeres de comunidades rurales

Efraín Ruiz y Ruiz<sup>1</sup> y Valeria Soto Mendoza<sup>2</sup> \*

<sup>1</sup>División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Saltillo, Coahuila. <sup>2</sup>Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas, Universidad Autónoma de Coahuila, Unidad Saltillo, Coahuila.

\* Correo electrónico: vsoto@uadec.edu.mx

**Palabras claves** — Optimización, Computación evolutiva, Predicción del riesgo de abandono académico, Educación.

El abandono escolar o deserción escolar es un fenómeno que se presenta en todos los niveles educativos. En México, el concluir los estudios a nivel medio superior es clave para que los estudiantes continúen estudios posteriores. De acuerdo con la Secretaría de Educación Pública (SEP), en el ciclo escolar 2020-2021 se registró un abandono escolar de 11.6 % en el nivel medio superior y 8.8 % en el nivel superior del total de inscritos para cada nivel en ese ciclo.

Las causas del abandono escolar son diversas y han sido estudiadas desde la perspectiva cualitativa: de acuerdo con la Encuesta para la Medición del Impacto COVID-19 en la Educación (ECOVID-ED) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), de 2.2 % (738.4 mil personas) de la población inscrita el ciclo escolar 2019-2020 que no concluyó, más de la mitad (58.9 %) señaló que fue por un motivo relacionado a la COVID-19, 8.9 % por falta de dinero o recursos, 6.7 % porque tenía que trabajar y 25.5 % por otros motivos.

La asociación civil Hermanas Franciscanas en México, A.C. (HFEM), cuenta con un programa en donde apoya a jóvenes estudiantes mujeres provenientes de comunidades rurales para concluir sus estudios a nivel medio superior y superior.

Este programa ha operado por alrededor de 10 años atendiendo a mujeres de ejidos aledaños a la comunidad de San Rafael, Galeana, Nuevo León. En este trabajo se construye un caso de estudio a partir de los datos proporcionados por las HFEM y se presenta un modelo de optimización para identificar el riesgo de una estudiante de abandonar sus estudios.

## Referencias

[1] Secretaría de Educación Pública (SEP), 2022. DGPPYEE-Sep., [https://www.planeacion.sep.gob.mx/Doc/informes/labores/2018-2024/4to\\_informe\\_de\\_labores.pdf](https://www.planeacion.sep.gob.mx/Doc/informes/labores/2018-2024/4to_informe_de_labores.pdf)

[2] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2020. Encuesta Para La Medición Del Impacto Covid-19 En La Educación (ECOVID-ED) 2020., <https://www.inegi.org.mx/investigacion/ecovid/2020/>

[3] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2022. Tasa de abandono escolar por entidad federativa según nivel educativo 2000-2021. Tabulados Interactivos-genéricos., <https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?pxq=9171df60-8e9e-4417-932e-9b80593216ee>



# Formulación matemática para un problema de ruteo de vehículos inspirado en el sector turístico, adaptado a diversas funciones objetivo.

Pedro I. Loera Martínez, 1\* e Iris Abril Martínez Salazar<sup>2</sup>

1Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolas de los Garza, Nuevo León

2 Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolas de los Garza, Nuevo León

\* Correo electrónico: pedro.loeramr@uanl.edu.mx

**Palabras claves** — Ruteo de vehículos, Modelo matemático, Turismo

En la actualidad el turismo en México representa una de las actividades que mayor contribuye al Producto Interno Bruto del País, aportando en la generación de empleos, y en la comercialización de servicios y productos nacionales (INEGI, 2022). La OMT (Organización Mundial del Turismo) coloca a México en el sexto lugar en número de visitantes extranjeros a nivel mundial, y en segundo lugar en el continente americano. Además se consolida dentro de los primeros 10 lugares a nivel mundial en captación de divisas por visitantes internacionales (UNWTO, 2022). Entre los servicios ofrecidos al sector turístico sobresalen el transporte de pasajeros, así como también los servicios brindados en restaurantes, bares y centros nocturnos.

Los problemas de ruteo de vehículo son unos de los más estudiados en la literatura, a los cuales se les da una gran diversidad de aplicaciones. En este trabajo nosotros presentamos un problema de ruteo de múltiples vehículos, inspirado en el TSP y en un caso real perteneciente a una agencia de viajes, la cual busca satisfacer las necesidades de los clientes (turistas), mientras que se optimiza alguna función objetivo.

Es importante mencionar que en este trabajo se presenta una estructura de flujo de redes para realizar un modelo de programación lineal entera mixta, el cual, sufre modificaciones y/o adaptaciones para lograr resolver el problema con diversas funciones objetivo. El modelo matemático intenta resolver el problema principalmente desde el punto de vista de la agencia, con objetivos como la minimización de distancia recorrida, minimización de costos de traslado, o minimización en número de vehículos. Posteriormente, el problema se enfocó en los requerimientos de los clientes (turistas), como es la maximización del beneficio obtenido por punto turístico visitado, minimización del tiempo de espera, o la minimización de los retardos de tiempo de llegada a los puntos turísticos.

Dentro de este problema se consideran restricciones de (1) capacidad de los vehículos, (2) límite de tiempo para realizar el recorrido, (3) restricciones de equilibrio de flujo en redes. Además, se hace la implementación de penalizaciones para cuantificar los retardos y los tiempos de espera.

Por último, también se presenta una introducción de heurísticas para la búsqueda de soluciones factibles a este problema, las cuales puedan ser utilizadas como una solución inicial, intentando disminuir el tiempo de procesamiento por el algoritmo del solver utilizado (CPLEX).





## Referencias

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI 2022). Indicadores trimestrales de la Actividad turística (ITAT). Fecha de recuperación, agosto 2023. <https://www.inegi.org.mx/temas/itaae/>

World Tourism organization (UNWTO 2022). BARÓMETRO OMT DEL TURISMO MUNDIAL. Agosto 2023-Statistical Annex. Fecha de recuperación, agosto 2023. <https://www.unwto.org/es/barometro-del-turismo-mundial-de-la-omt>



# Comparativa de soluciones del problema del agente viajero con branch and bound y algoritmo evolutivo

Verónica Alondra García Ortiz<sup>1</sup>, Jenifer Michel Jaramillo Ruvalcaba<sup>1</sup>, Alejandra Gómez Padilla<sup>1\*</sup>, y Laura Plazola Zamora<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías (CUCEI), Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco.

<sup>2</sup> Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas (CUCEA), Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco

\* Correo electrónico: alejandra.gpadilla@academicos.udg.mx

**Palabras claves** — Problema del agente viajero, Branch and bound, Algoritmo evolutivo

El problema del agente viajero es un problema de transporte que busca determinar la secuencia en la que se van a visitar a los clientes, partiendo de un origen y regresando al mismo. La distribución de mercancías es clave para asegurar la competitividad de las cadenas de suministro y ha adquirido mayor relevancia con el incremento del comercio electrónico y la importancia de la última milla. Para este estudio comparativo, se obtuvo información de los procesos de distribución de última milla en el área de E-commerce y mensajería de una empresa de logística y transporte. Se analizaron los datos de una semana y se seleccionaron dos rutas: una con 23 puntos de entrega y otra con 40 puntos de entrega. Estas dos rutas corresponden a las rutas con menor y mayor número de entregas respectivamente.

El problema del agente viajero hace referencia a un problema de ruteo en donde se pretende encontrar un recorrido óptimo que pueda conectar todos los puntos de entrega (nodos) de una red, teniendo en cuenta que solo se podrá visitar una vez a cada nodo. Lo que se quiere lograr es minimizar la distancia total de la ruta, así como el tiempo que se emplea en todo el trayecto, puesto que derivado de esto se pueden reducir costos de distribución, mismo que generan un porcentaje bastante alto en cotos de última milla.

El algoritmo de branch and bound consiste en analizar distintas soluciones. La búsqueda de soluciones se realiza sobre todos los nodos de un árbol de acuerdo con criterios específicos: recorrer cada nodo del árbol desde el nivel superior hacia la base del árbol y los nodos terminales resolviendo en cada nodo un programa lineal y determina qué nodos pueden eliminarse. Un nodo se elimina (junto con sus descendientes) si no existe una solución factible; pero si existe solución factible se convierte en una cota inferior. El algoritmo termina cuando todos los nodos han sido revisados y la solución óptima es la de mayor cota inferior. (Rocha Medina et al., 2011).

Los métodos evolutivos están basados en algoritmos que imitan procesos que se presentan en la naturaleza. Estos métodos se basan en generar, seleccionar, combinar y reemplazar un conjunto de soluciones. Dado que mantienen y manipulan un conjunto de soluciones en lugar de una única solución a lo largo de todo el proceso se puede ver agravado porque la “convergencia” de la población requiera de un gran número de iteraciones. Por ello se ha dedicado un gran esfuerzo a obtener métodos que sean más agresivos y logren obtener soluciones de calidad en un horizonte más cercano. (Blum and Roli, 2003)

El algoritmo evolutivo para resolver este problema es el algoritmo genético en el que se considera una convergencia con la solución óptima de 0.01%, una tasa de mutación de la población del 7.5%; se genera una población de 100 instancias para evaluar la solución dando como máximo 30 segundos. En este documento se comparan los resultados obtenidos con ambos métodos. Por la cantidad de instancias el método de branch and bound produce mejores resultados en tiempo razonable. El método evolutivo se aproxima hasta en un 1% a la solución óptima sin embargo regresa a soluciones anteriores y nunca llega al óptimo





## Referencias

L. Rocha Medina, E. Gonzalez La Rota, y J. Orjuela Castro (2011). Una revisión al estado del arte del problema de ruteo de vehículos: Evolución histórica y métodos de solución. *Ingeniería*, 16(2), 33-55.

C. Blum y A. Roli (2003) Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 35, 268-308



# El problema de ruteo sobre arcos con capacidad: Modelos y métodos de solución

Jonás Velasco,1\* y Luis E. Urbán Rivero2

1CONAHCYT-Centro de Investigación en Matemáticas (CIMAT), A.C., Aguascalientes, 20200, México.  
2Dpto. de Sistemas, Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, Ciudad de México, México.

\* Correo electrónico: jvelasco@cimat.mx

**Palabras claves** — Problema de ruteo de arcos, Ruteo de vehículos, Heurísticas de dos etapas

En esta charla se abordará el problema de ruteo sobre arcos con capacidad o CARP, por sus siglas en inglés. El problema considera una red con arcos no dirigidos, los cuales deben ser servidos respetando la capacidad de cada vehículo. El objetivo del CARP es determinar las rutas de los vehículos minimizando la distancia total recorrida. Debido a la complejidad que se conoce para resolver instancias de este problema, se presentarán algunas técnicas heurísticas y mejoras a los modelos matemáticos conocidos. La Figura 1 muestra una solución de la heurística por etapas, donde la primera etapa se asignan arcos requeridos para ser atendidos por algún vehículo y, en la segunda etapa, se crean las rutas para cada vehículo. Finalmente, se hablará de algunas preguntas abiertas como posibilidades para la extensión de este trabajo.

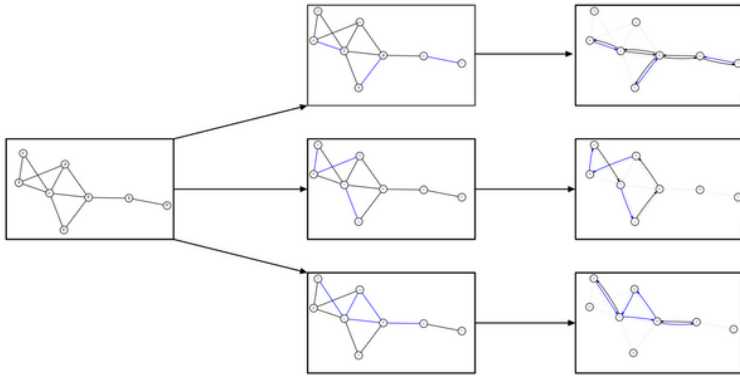


Figura 1: Solución mediante una heurística por etapas (primero asignar-luego enrutar) para una instancia ilustrativa.

## Referencias

H. A. Eiselt, M. Gendreau, and G. Laporte. Arc routing problems, part ii: The rural postman problem. *Operations research*, 43(3):399–414, 1995.

J. Edmonds and E. L. Johnson. Matching, euler tours and the chinese postman. *Mathematical programming*, 5(1):88–124, 1973.





# Sobre la elección de una Big M grande o pequeña

Oliver Avalos Rosales, 1\* y Yajaira Cardona Valdés<sup>2</sup>

1 Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila

\* Correo electrónico: o.avalos@uadec.edu.mx

*Palabras claves* — Modelación, Programación lineal entera mixta, Big M

La programación entera mixta es probablemente una de las herramientas más utilizadas e importantes de las investigaciones de operaciones. Dentro de ésta existen varios trucos para modelar diferentes situaciones, tales como el uso de variables binarias y la técnica de la BigM.

La BigM es usada para modelar costos fijos, así como para modelar la selección de una restricción entre un conjunto de restricciones. Por un lado, en algunos libros y algunos autores mencionan que puede usarse un valor de M arbitrariamente grande. Por otro lado, aquellos más familiarizados con modelación matemática, y las dificultades de resolver computacionalmente dichos modelos, reconocen que el valor de la M debe ser elegido con precaución, de preferencia tan pequeño como sea posible. También estos últimos reconocen que si el valor de la M es pequeño se tiene que demostrar que la elección de dicho valor no elimina soluciones factibles del problema entero mixto, o bien, que no elimina la solución óptima del problema. Esto último puede ser trivial, o bien, consumir mucho tiempo y cierto expertise del modelador.

En esta plática damos ejemplos de problemas de secuenciación de tareas donde nos fue más fructífero prestar atención a la modelación de la función objetivo que a la cuidadosa elección de la M y la posterior demostración de que no elimina soluciones factibles



# Un problema binivel de localización de centros de transferencia y selección de plantas de tratamiento para residuos sólidos urbanos

Krystel Marisol Rodríguez Rodríguez, 1\* y José Fernando Camacho Vallejo2

1Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás, Nuevo León, México.

2 Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, Nuevo León, México.

\* Correo electrónico: krystel.rodriguezrz@uanl.edu.mx

**Palabras claves** — Programación binivel, Logística verde, Localización, GRASP

Dado el crecimiento acelerado de residuos sólidos urbanos (RSU) y el descuido de servicios apropiados, la logística verde ha tenido un papel importante en la intervención tecnológica para la gestión eficiente de residuos con diversos estudios donde se proponen modelos binivel de cadenas de suministro para la optimización del sistema (He et al. 2011), (Li et al. 2017), (Wang et al. 2011).

En este estudio, se presenta un modelo de programación binivel que aborda la logística ambiental en el manejo de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). El enfoque se centra en analizar una cadena de suministro jerarquizada para gestionar estos residuos de manera más sostenible. El problema involucra a dos grupos de decisores: el gobierno y una empresa privada. Los RSU son recolectados desde vertederos municipales administrados por el gobierno y transportados hacia centros de transferencia, donde se clasifican para ser trasladados posteriormente a plantas especializadas, donde se lleva a cabo su proceso de tratamiento y reciclaje según el tipo de residuo. El gobierno busca minimizar las emisiones de gases de dióxido de carbono generados en la cadena de suministro, tomando decisiones sobre la apertura de centros de transferencia y el traslado de los RSU recolectados a dichos centros. Por otro lado, la compañía privada selecciona las plantas de tratamiento especializadas en los diferentes tipos de RSU con los que van a trabajar, y se encarga del envío de los materiales desde los centros de transferencia a estas plantas, con el objetivo de minimizar los costos de operación.

Para resolver el problema binivel planteado se propone un algoritmo metaheurístico anidado basado en GRASP para decidir la habilitación de los centros de transferencia y con un modelo exacto se decide el envío de los RSU. Después, para cada solución completa del líder, se resuelve el nivel inferior de manera exacta con un optimizador comercial. El algoritmo itera hasta alcanzar un criterio de paro. Se muestran resultados preliminares y se describen algunos hallazgos relevantes sobre las soluciones obtenidas hasta el momento.

## Referencias

He, L., Huang, G., & Lu, H. (2011). Greenhouse gas emissions control in integrated municipal solid waste management through mixed integer bilevel decision-making. *Journal of Hazardous Materials*, 193, 112–119.

Li, J., He, L., Fan, X., Chen, Y., & Lu, H. (2017). Optimal control of greenhouse gas emissions and system cost for integrated municipal solid waste management with considering a hierarchical structure. *Waste Management & Research*, 35(8), 874–889.

Wang, G.M., Ma, L.M., & Li, L.L. (2011). An application of bilevel programming problem in optimal pollution emission price. *Journal of Service Science and Management*, 4(3), 334



