

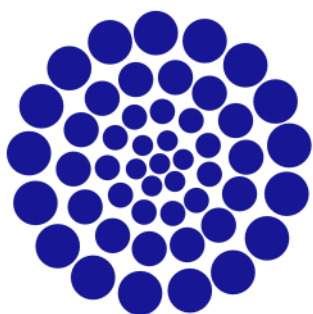
SOCIEDAD MEXICANA
DE
INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

CSMIO 2018

PROGRAMA Y RESÚMENES

Octubre 17, 18 y 19
Saltillo, Coahuila, 2018

CSMIO 2018



CONACYT

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



COECYT

CONSEJO ESTATAL DE CIENCIA
Y TECNOLOGÍA DE COAHUILA



EDITORES:

Ada Álvarez Socarrás

Vanesa Avalos Gaytán

Oliver Avalos Rosales

Yajaira Cardona Valdés

Irma Delia García Calvillo

Autor de fotografía de portada: Miguel A. Mendoza Zamora

Autor de fotografía de contraportada: José Refugio Reyes Valdés

Comité organizador CSMIO 2018

IRMA DELIA GARCÍA CALVILLO

Presidenta del Comité Organizador

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA

Alejandro Navarro Acosta	<i>Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas</i>
Diana Salas Reques	<i>Facultad de Sistemas</i>
Evaristo Alferez Rodríguez	<i>Facultad de Sistemas</i>
Fabiola Ramírez Valadez	<i>Facultad de Sistemas</i>
Félix de Jesús Sánchez Pérez	<i>Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas</i>
José Refugio Reyes Valdés	<i>Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas</i>
Miguel Ángel Mendoza Zamora	<i>Facultad de Sistemas</i>
Oliver Avalos Rosales	<i>Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas</i>
Rabindranath Galván Gil	<i>Facultad de Sistemas</i>
Rina Ojeda Castañeda	<i>Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas</i>
Vanesa Ávalos Gaytan	<i>Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas</i>
Yajaira Cardona Valdés	<i>Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas</i>
Yuliana Ávila Alvarado	<i>Facultad de Sistemas</i>
Valeria Soto Mendoza	<i>Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas</i>

Comité científico CSMIO 2018

ADA M. ÁLVAREZ SOCARRÁS

Presidenta del Comité Científico

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Alejandro Alvarado Iniesta	UACJ
Belén Melián Batista	ULL, España
Carlos Coello Coello	Cinvestav
Efraín Ruíz y Ruíz	ITS
Eric Moreno-Centeno	UT A&M
Francisco Angel-Bello Acosta	ITESM-Mty
Francisco Javier Zaragoza Martínez	UAM
Hugo Jair Escalante Balderas	INAOE
Juan Carlos Leyva López	UAS
Laura Cruz Reyes	ITCdM
María Guadalupe Villarreal Marroquín	Cimat, Mty
Martha Cabo Nodar	ITAM
Neale Smith Cornejo	ITESM- Mty
Onésimo Hernández-Lerma	Cinvestav
Roger Z. Ríos Mercado	UANL
Rosa González Ramírez	UA, Chile
Víctor Gustavo Tercero Gómez	ITESM-Mty
Yasmín Agueda Ríos Solís	UANL

Bienvenidos al CSMIO 2018

Estimados colegas ¡bienvenidos al VII Congreso de la Sociedad Mexicana de Investigación de Operaciones 2018!

El VII CSMIO en su edición 2018 se realiza en las instalaciones de la Universidad Autónoma de Coahuila del 17 al 19 Octubre en la Ciudad de Saltillo, Coahuila.

Es un honor ser partícipes de la organización de este importante evento, que reúne a la comunidad académica de Investigación de Operaciones en México, y en esta ocasión, también contamos con la participación de académicos de instituciones educativas de América Latina. Agradecemos la confianza depositada por la Sociedad Mexicana de Investigación de Operaciones (SMIO), al permitirnos colaborar y aportar a la difusión de esta área del conocimiento, lo cual, sin duda, enriquece nuestra labor académica.

En esta edición del CSMIO tenemos reconocidos investigadores impartiendo las conferencias plenarias y tutoriales. A todos los conferencistas gracias por compartir su trabajo de investigación en beneficio de la comunidad académica de IdeO en México, sus aportaciones en esta área impulsan el desarrollo de la ciencia, nuestro agradecimiento y reconocimiento a su trabajo y legado académico.

Asimismo, deseamos agradecer a los miembros del Comité Científico del Congreso por la excelente labor realizada en beneficio de mantener la calidad académica del CSMIO. Al Comité Local gracias por su trabajo y dedicación para lograr el éxito de este evento. Agradecemos a las instituciones que han apoyado este Congreso: el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, el Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas de la UAdeC, el Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología del Estado de Coahuila y la Facultad de Sistemas de la UAdeC; sin el apoyo de estas instituciones no sería posible llevar a cabo el VII CSMIO.

De forma especial agradecemos el apoyo incondicional brindado para la realización de este evento a la Universidad Autónoma de Coahuila, encabezado por el Ing. Salvador Hernández Vélez, Rector de la UAdeC, a la Coordinación General de Estudios de Posgrado e Investigación y a la Dirección de Asuntos Académicos de la UAdeC todo el apoyo brindado.

Esperamos que disfruten esta fiesta académica, que se reencuentren con amigos, que hagan nuevos amigos y que sigamos consolidando la Sociedad Mexicana de Investigación de Operaciones.

Irma Delia García Calvillo – Comité Local
Ada M. Alvarez Socarrás – Comité Científico

Índice general

Carta de bienvenida	4
1. CONFERENCIAS	7
2. TUTORIALES	10
3. PONENCIAS	12
Índice de Autores	77
Horarios	79





Foto por: Adrián García

CONFERENCIAS

Conferencia Inaugural

TENDENCIES ON STOCHASTIC OPTIMIZATION AND RELATED MODELS, ALGORITHMS AND COMPUTATIONAL RESULTS OF SOME REAL-LIFE PROBLEMS

CP-1: Sala de Seminarios Emilio J. Talamás Talamás,
Miércoles 17, 10:00-11:00.

Laureano F. Escudero Bueno, Universidad Rey Juan Carlos, España.

Mathematical optimization can help the decision making process in many situations and different sectors. Very frequently, the information for problem solving (mainly in dynamic ones, i.e., planning along a time horizon) is not known with certainty. In those cases, the discipline Computational Mathematical Optimization under Uncertainty has a key role on the decision support systems. In this lecture we consider the type of problems we have been involved with long a scientific career (in production planning and sequencing, supply chain management and logistics, other problems in industry, transport, energy, finance, air traffic, disaster relief, etc.) as well as the new trends that are emerging for a better help on decision making. Those trends are related to the following areas: (1) Strategic and operational uncertain parameters treatment in representative scenario trees, mainly in infrastructure capacity expansion planning; (2) Time-consistent and time-inconsistent risk averse measures for preventing solutions that could negatively impact in non-high probability high cost scenarios (frequently, the so-named black swan scenarios); (3) Diminishing the worst case impact by considering risk reduction in (distributional as well) robust optimization; (4) Decision-dependent uncertainty reducing (so-called endogenous uncertainty); (5) Role of mathematical optimization under uncertainty in equilibrium problems, such as pricing, bidding, counterattacks (i.e., let us name it stochastic bilevel optimization); and (6) Given the enormous model (linear and nonlinear, continuous and integer, single-function and multi-function) dimensions (very frequently, up to hundreds of thousands of constraints and variables), it is unrealistic to seek for optimal solutions, so, parallelizable decomposition heuristic algorithms (i.e., guaranteeing the solution's quality) are a must. Finally, up to the allowed time for the lecture, computational experience is reported on some large-sized real-life problems by considering some of the above trends.



Laureano F. Escudero received his PhD Degree in Economic Sciences from Universidad de Deusto, Bilbao, Spain, 1974, and a Ms degree in Computer Sciences from Universidad Politécnica de Madrid, Spain, 1972. He taught Mathematical Optimization courses at the Mathematical Sciences School, Uni-

versidad Complutense de Madrid, 1992-2000. He has been full professor of Operations Research at the Universidad Miguel Hernandez de Elche (Alicante), Spain, 2000-2007 and Universidad Rey Juan Carlos (URJC), Mostoles (Madrid), Spain, 2007-2013. Since then he is a Research Fellow on Statistics & Operations Research and retired Full Professor in URJC. He has supervised 12 PhD theses and he is the holder of two patents. In the period 2003-04 he was the President of EURO (Association of European Operational Research Societies). He is a holder of an EURO Golden Pin in 2007. He has worked at IBM Research, Scientific and Development Centers in Madrid (Spain), Palo Alto (California), Sindelfingen (Germany) and T.J. Watson Research Center (Yorktown Heights, NY), 1972-1991. He has held different positions at the IBERDROLA group (the biggest electric power generation and distribution company in Spain), being in period 1997-1999 the Manager of the Dept. of Decision Support Systems Engineering at IBERINCO (Iberdrola Ingeniería y Consultoría). He is the author of 5 books, and a co-author of another one. He has published over 140 scientific papers in leading journals, such as Mathematical Programming, European Journal of Operational Research, Computers & Operations Research, SIAM Journal on Optimization, Operations Research Letters, Advanced Software Engineering, Pattern Recognition, TOP, Questiiio, Revista de Investigación Operativa, etc. He has also co-edited 7 books and written more than 30 chapters of books edited by others. He has delivered more than 450 talks in national and international congresses and conferences. He has worked in different mathematical programming fields (linear, integer, nonlinear, stochastic) and its applications to energy power generation and maintenance planning, capacity generation expansion and trading under uncertainty, supply chain management under uncertainty and air traffic flow management under uncertainty, among other sectors. He has been Co-Editor-In-Chief of TOP, a journal of SEIO, the Spanish Statistics and Operations Research Society, 1993-2000, and member of the Editorial Board of the European Journal of Operational Research, 1977-2006. He is currently serving in the Editorial Board of the following journals: Revista de Matemáticas de la Complutense, TOP, SORT (Statistics and Ope-

rations Research Transactions), RAIRO-Operations Research (Area Editor for Stochastic Optimization), Investigación Operacional and Computational Management Science. He is a member of the following scientific societies: INFORMS (Institute for Operations Research and the Management Sciences), MOS (Mathematical Optimization Society), SIAM (Society for Industrial and Applied Mathematics) and SEIO (Sociedad de Estadística e Investigación-Operativa). L.F. Escudero is a member of the following EURO working groups, EWGSO (EWG on Stochastic Optimization) ECCO (EWG on Combinatorial Optimization), EUROPT (EWG on Continuous Optimization) and EWGLA (EWG on Location Analysis). He has reviewed papers for the following scientific journals: Management Science, Operations Research, European Journal of Operational Research, Mathematical Programming, Computers & Operations Research, Journal of Global Optimization, OMEGA, Journal of Optimization Theory and Applications, Annals of Operations Research, Optimization and Engineering, SIAM Journal on Discrete Mathematics, OR Spectrum, Journal of Heuristics, International Transactions in Operational Research, IMA Journal of Management Mathematics, Applied Mathematical Modelling, 4OR, etc. Google Scholar index-h: 32, index-i10: 86; ResearchGate index: 37.48.

PARTICIÓN DE GRAFOS

CP-2: Sala de Seminarios Emilio J. Talamás Talamás, Miércoles 17, 18:00-19:00.

José Luis González Velarde, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México.

El Problema de Partición de Grafos es uno de los más difíciles y con más aplicaciones de la Investigación de Operaciones. En esta conferencia se presentarán varios modelos centrados en este problema, así como las metodologías propuestas para su solución y varias de sus aplicaciones. Se presentarán también algunos retos para trabajos futuros.



José Luis González Velarde es Profesor Titular de la Escuela de Ingeniería y Ciencias del Tecnológico de Monterrey, campus Monterrey. De 2003 a 2014 fue titular de la Cátedra de Investigación ITESM en Cadenas de Suministro. De 2014 a 2016 fue el coordinador del Grupo de Investigación en Ingeniería Industrial y Métodos Numéricos. El Dr. González Velarde

obtuvo la Licenciatura en Matemáticas del Tecnológico de Monterrey, M. S. en Ingeniería Industrial e Investigación de Operaciones (IIIO) en la Universidad de California en Berkeley y Ph. D. en IIIO por la Universidad de Texas en Austin. En 1990 se incorporó al Centro de Sistemas de Manufactura del Tecnológico de Monterrey. Su área de docencia se enfoca a Sistemas de Producción, Manufactura y Logística y a la Optimización Computacional. Además ha sido profesor en la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la UANL, y profesor visitante en la Universidad de Colorado en Boulder, la Universidad Politécnica de Cataluña, la Universidad de La Laguna, en Tenerife, España, y la Universidad de Oviedo, campus

Gijón en España. Durante los últimos 28 años el Dr. González Velarde ha supervisado más de 30 tesis de maestría y nueve disertaciones doctorales. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Nivel 3 y miembro regular de la Academia Mexicana de Ciencias. Número de Erdős 3. Fue Secretario General de la Sociedad Mexicana de Investigación de Operaciones (SMIO) de 2011 a 2014, Secretario de la Asociación Latino Ibero Americana de Investigación Operativa (ALIO) de 2012 a 2014, Presidente de ALIO de 2014 a 2016, actualmente y hasta 2018 Presidente Saliente de ALIO. Ha recibido tres veces el Premio ITESM Rómulo Garza de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Ha publicado en las revistas más importantes del área tales como Annals of Operations Research, Computers and Operations Research, IIE Transactions, Journal of Intelligent Manufacturing, EJOR, Journal of Heuristics, Transportation Science, Journal of the Operational Research Society, Computers and Industrial Engineering, International Journal of Production Economics, Transportation Research, Applied Soft Computing, International Transactions in Operational Research, etc. Es Editor Asociado de las revistas indexadas Journal of Heuristics y TOP, ambas publicadas por Springer y ha sido Editor Huésped de Annals of Operations Research.

OPERATIONS ANALYTICS, THE NEW ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR BUSINESS

CP-3: Sala de Seminarios Emilio J. Talamás Talamás, Jueves 18, 11:00-12:00.

Cipriano Santos, Gurobi Opt. Inc., USA.

During this talk, we will discuss Operations Analytics as the new Artificial Intelligence approach to tackle complex and high impact engineering and business problems. The goal of Operations Analytics is to maximize the operational efficiency of any organization -private or public, while optimizing the trade-offs of the organization objectives and satisfying resources limitations and other organizational rules and constraints. The concept of Operations Analytics integrates the whole spectrum of advanced analytics: instrumentation, measurement, analytics, decision making, and feedback loops from execution. In addition, we will discuss how Gurobi Optimization -the leading mathematical programming solver, is a key enabler of Operations Analytics. We will discuss key features of Gurobi technology, benchmarks, and special programs Gurobi has to promote research on applications of mathematical programming for Universities.



Cipriano Santos es un reconocido científico que realiza investigación de operaciones en Gurobi Opt. Inc. En 2004 sus logros técnicos fueron reconocidos con el Premio al Logro Nacional de la Asociación HENAAAC de Ingenieros Hispanos. Cipriano Santos es ampliamente reconocido por su experiencia en la optimización a través de modelos matemáticos. Su trabajo en computación distribuida es

un elemento central del Programa de Empresa Adaptativa de HP que permite a las empresas modificar de forma sencilla su infraestructura de tecnologías de la información y usar el soporte de HP para impulsar sus proyectos. Él jugó un papel crucial en un proyecto para simplificar la transferencia de dinero entre los mexicanos que trabajan en Estados Unidos y sus familias que permanecen en México. Asimismo, inició un programa para llevar estudiantes de Latinoamérica a los laboratorios de las oficinas centrales de HP en Palo Alto, California para hacer estancias de verano. Ha logrado el registro de 17 patentes y es editor Asociado del Journal of Heuristics. Ha sido reconocido con el Premio a la Excelencia que otorga la Presidencia de México.

MODELACIÓN MATEMÁTICA EN REGULACIÓN DE MERCADOS

CP-4: Sala de Seminarios Emilio J. Talamás Talamás, Viernes 19, 12:30-13:30.
Gilberto Calvillo Vives, Instituto de Matemáticas, UNAM, México.

Desde el surgimiento del capitalismo en el siglo XV con el surgimiento de pequeñas ciudades en la Europa Medieval se ha planteado qué tanto el estado debe de intervenir en el funcionamiento de los mercados. Al principio los burgueses fueron ganando autonomía de los señores feudales y de los reyes gracias a la acumulación de capital, después se elaboró la ideología del Liberalismo Económico que se sintetizó en la frase "Laissez faire, laissez passer, le monde va de lui même" (Dejar hacer, dejar pasar que el mundo va por si solo) establecida por los fisiócratas en el siglo XVIII. En el siglo XX la instauración del sistema socialista en varios países planteo una nueva forma de pensar la economía en la cual el estado era rector de la misma. Esto y la depresión económica de los años 30 en el mundo capitalista hicieron que se replanteara la ingerencia del estado en las cuestiones económicas y en particular en los mercados financieros. La ley de Bancos de Estados Unidos establecida en 1933 (Ley Glass-Steagall) es el más claro ejemplo. Sin embargo con el tiempo la regulación establecida para los mercados financieros se ha venido relajando en todo el mundo capitalista bajo el paradigma del Neo-Liberalismo. La reciente crisis financiera de 2007-2008, de la cual aun quedan reverberaciones, ha llevado a algunas autoridades y a bastantes investigadores a plantearse la necesidad de volver a establecer regulaciones más restrictivas. Este es un tema de debate actual. En México se han seguido los pasos de los países industrializados en cuanto a la liberación económica. Se liberaron los precios de los bienes, se terminó con los subsidios, se privatizaron las empresas del Estado etc. Ahora la liberalización de la Economía en México nos plantea el dilema de la regulación. Desafortunadamente, tanto en México como en los demás países la regulación pasa por un proceso mayoritariamente jurídico que oscurece la esencia de la regulación. En esta plática plantearé algunos casos en los cuales la Matemática y la Estadística son relevantes en la regulación de los mercados. Amén de ser importante, este parece ser un tema novedoso de investigación en México.



Gilberto Calvillo Vives (Ciudad de México, 3 de noviembre de 1945) es un físico y matemático mexicano. Realizó estudios de licenciatura en Física y Matemáticas en el Instituto Politécnico Nacional, y obtuvo la Maestría en Ciencias Aplicadas con especialidad en Investigación de Operaciones en la Universidad de Waterloo, en Ontario, Cana-

dadá. En esa misma Institución obtuvo el Doctorado en Investigación de Operaciones. A lo largo de más de 30 años de experiencia profesional, trabajó en la logística del sistema de difusión de la Olimpiada de 1968; en PEMEX, en diversos temas de investigación de operaciones y en el Banco de México en temas de estadística, investigación de operaciones, matemáticas aplicadas, finanzas, economía y sistemas. Dentro del Banco de México, el Dr. Gilberto Calvillo desempeñó diversos cargos entre los que destacan: Subdirector del Fideicomiso para la Cobertura de Riesgos Cambiarios (FICORCA), Director del FICORCA, Gerente Técnico de la Dirección de Operaciones, así como Director de Sistemas Operativos de Banca Central, desde donde dirigió por un periodo de cuatro años la Reforma al Sistema de Pagos del país. En 1998 se crea la Comisión Nacional para la Conversión Informática del 2000; para dirigir este proyecto, el Banco de México lo designa como responsable de las acciones para la transición informática año 2000 y representante del Sector Financiero para dicha tarea, tiempo en el cual fungió como Director de Sistemas de BANXICO. Por su labor realizada en este proyecto, la revista Information Week nombra al doctor Gilberto Calvillo Vives el Hombre de Sistemas del Año 1999. Ha sido presidente del Instituto Mexicano de Sistemas e Investigación de Operaciones, presidente fundador del Comité EDI-México y presidente del Comité Mexicano de Comercio Electrónico. Colaboró durante 10 años con la Sociedad Matemática Mexicana en el Comité de Vinculación de las Matemáticas con el Sector Productivo. En lo que se refiere a su quehacer científico, el doctor Calvillo Vives ha dado cátedra en las áreas de Ciencias Físico Matemáticas durante 20 años en la Escuela Superior de Física y Matemáticas del IPN y, en la Facultad de Ciencias de la UNAM. Ha escrito diversos artículos de investigación en matemáticas y el libro titulado: "Métodos de la Programación Lineal". Asimismo, ha dirigido diversas tesis de doctorado, maestría y licenciatura. También ha sido co-organizador del Coloquio de Teoría de las Gráficas, la Combinatoria y sus Aplicaciones durante dieciocho años y en los últimos ocho del Congreso Internacional de Aspectos Combinatorios de la Optimización, Topología y Álgebra. El 24 de abril de 2001, Francisco Gil Díaz, el entonces Secretario de Hacienda, dio posesión a Gilberto Calvillo como nuevo Presidente del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), cargo que desempeñó hasta el mes de agosto de 2008.

TUTORIALES

STOCHASTIC PROGRAMMING: FORMULATIONS, ALGORITHMS, AND APPLICATIONS

T-1: Sala de Seminarios Emilio J. Talamás Talamás,
Miércoles 17, 11:30-13:10.
Víctor Zavala, University of Wisconsin, USA.

This short course is targeted towards graduate students and practitioners interested in learning how to formulate, analyze, and solve stochastic programming problems. The course provides a review of probability and optimization concepts and covers different problem classes that include risk metrics, probabilistic constraints, and (partial) differential equations. The course also explores conceptual connections with non-smooth and mixed-integer optimization that facilitates modeling and analysis. Algorithms and software tools for the solution of continuous and mixed-integer formulations in parallel computers are also discussed. Numerical examples implemented in the open-source Julia programming language are provided. Finally, real applications are discussed to demonstrate the scope of the concepts and tools.



Victor M. Zavala is the Richard H. Soit Assistant Professor in the Department of Chemical and Biological Engineering at the University of Wisconsin-Madison. Before joining UW-Madison, he was a computational mathematician in the Mathematics and Computer Science Division at Argonne National Laboratory. He holds a B.Sc. degree from Universidad Iberoamericana and a Ph.D. degree from Carnegie Mellon University,

both in chemical engineering. He is on the editorial board of the Journal of Process Control and Mathematical Programming Computation. His research interests are in the areas of mathematical modeling of energy systems, high-performance computing, optimization under uncertainty, and model predictive control.

LAGRANGEAN RELAXATION: WHAT IT IS, WHEN AND HOW TO USE IT, EXAMPLES

T-2: Sala de Seminarios Emilio J. Talamás Talamás,
Jueves 18, 12:00-13:40.
Monique Guignard, University of Pennsylvania, Philadelphia.

Lagrangian relaxation (LR) is used primarily in integer programming. It does not usually solve problems by itself, but it may allow the user (1) to compute strong bounds on the optimal value and (2) in many cases, to obtain good feasible solutions via ad-hoc heuristics. If successful, this will provide a bracket on the optimum. We will first concentrate on linear problems. The Integrality Property is a necessary condition for the LR bound to possibly dominate the LP bound. After a brief survey of the most common iterative methods for computing a Lagrangian bound, we will refer to some more sophisticated approaches that might be needed for hard-to-converge cases. If an LR model satisfies the Integer Linearization Property (ILP), a considerable speed-up in its solution may be achievable as it will decompose into much smaller and simpler subproblems. It is therefore very important to recognize the ILP when present. We will also define Lagrangian Decomposition (LD) and Lagrangian Substitution (LS), with examples that show the great variety of potential Lagrangian schemes. Finally we will describe recent uses of Lagrangian relaxation in the context of reformulation and linearization (RLT) of quadratic 0-1 problems with linear constraints. We will present examples for which stronger bounds have been obtained much faster, and also for much larger instances, than previously achieved.



Monique Guignard is Professor at the Department of Operations, Information and Decisions of the Wharton School, University of Pennsylvania. She holds a Thèse de Doctorat ès-Sciences Mathématiques, Très Honorable avec Félicitations du Jury, 1980 at the Université des Sciences et Techniques de Lille, France, where she worked with Professeur Pierre Huard.

She has been Visiting Professor at the Université de Paris-Orsay, Université de Valenciennes, Université de Paris-Nord, and Université de Versailles, Fudan University in Shanghai, China, the University of Chile in Santiago and Universidad de Concepción. Her interest is in Large Scale Optimization and

Integer Programming, a field in which she has made significant methodological and practical contributions, particularly by using Lagrangean approaches. She has several publications in the most prestigious journals of the field, of which she has also served as editor or co-editor. She was awarded the IFORS Distinguished Lecturer title at the 2016 CLAIO in Santiago, Chile.



Foto por: José R. Reyes

PONENCIAS

3

La eficiencia en la administración aeroportuaria mexicana

Edgar Possani* Juan Pablo Ortiz Rodríguez

Departamento Académico de Matemáticas, ITAM, Ciudad de México.

* Correo electrónico: epossani@itam.mx

Resumen

El mercado de la aviación en México ha crecido considerablemente en los últimos años no solo en cuanto al número de pasajeros, sino también con respecto a las toneladas de carga transportadas. Los aeropuertos mexicanos se organizan para su administración y operación en cinco principales grupos aeroportuarios: Grupo Aeroportuario del Sureste (ASUR), Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA), Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México (GACM), Grupo Aeroportuario del Pacífico (GAP), Grupo Aeroportuario Centro Norte (OMA). El análisis envolvente de datos (AED) es una técnica basada en la programación lineal que permite evaluar eficiencias entre distintas unidades de decisión (ver Charnes et al. (2007)). En este trabajo aplicamos un AED, similar al aplicado por Ahn y Min (2014), para evaluar la eficiencia de un conjunto de 50 aeropuertos nacionales. De manera complementaria también se aplica el índice Malmquist para ver los cambios en el tiempo considerando el periodo 2011-2016.

De manera general si tenemos m unidades de decisión (DMU), la matriz X de $m \times n$ guarda los n distintos insumos (entradas) de las m DMU y la matriz Y de $p \times m$ guarda los p distintos resultados (salidas) de las m DMU, entonces el AED permite identificar aquellas unidades que se encuentren en la frontera del conjunto de posibilidades de producción caracterizada por aquellos desempeños x, y en el conjunto $P = \{x \in \mathbb{R}^n, y \in \mathbb{R}^p \mid x \geq \lambda X, y \leq Y\lambda, \lambda \geq 0, \lambda \in \mathbb{R}^m\}$. Para cada DMU r ($1 \leq r \leq m$) se lineariza y resuelve el siguiente problema fraccional $\max \theta_r = \sum_{i=1}^n v_i x_{ir} / \sum_{j=1}^p w_j y_{rj}$ sujeto a $0 \leq \sum_{i=1}^n v_i x_{ih} / \sum_{j=1}^p w_j y_{hj} \leq 1$ donde $v_i, w_j \geq 0$ son los pesos relativos asociados a las variables de entrada y salida respectivamente y θ_r es la eficiencia de la r -ésima DMU. Posterior a un filtrado y análisis preliminar de datos, se probaron distintos modelos que evalúan combinaciones de diferentes variables de entrada (insumos) y salida (productos) que explican un desempeño específico en rubros de interés para los aeropuertos. En esta charla se presentará una comparación entre los 50 aeropuertos a nivel nacional, identificando a aquellos que son referencia (dan mejores prácticas) para aquellos aeropuertos que no son eficientes. El AED permite identificar, mediante la proyección a la frontera, los rubros específicos dónde se puede mejorar así como la magnitud de la mejora requerida. Para ejemplificar el tipo de resultados, al usar los modelos CCR y BCC (ver Charnes et al. (2007)) orientados a salidas, obtenemos la Tabla 1 para el año 2016 donde se resume la eficiencia promedio por grupo, el porcentaje de aeropuertos que están debajo del promedio nacional, así como los aeropuertos eficientes que son referencia para otros.

Tabla 1: Comparativo de Eficiencias entre Grupos Aeroportuarios (2016)

Grupo	Número de DMUs	Promedio CCR	% menor al promedio	Promedio BCC	% menor al promedio	Aeropuertos Referencia CCR	Aeropuertos Referencia BCC
ASA	15	0.54	60 %	0.71	40 %	TLC, CME, QRO	TLC, CME, QRO, CTM, PXM
ASUR	9	0.56	67 %	0.75	33 %	CUN, VER	CUN, VER MID, VSA, TAP
GACM	1	1.00	0 %	1.00	0 %	MEX	MEX
GAP	12	0.71	33 %	0.89	8 %	GDL, TIJ, BJX	GDL, TIJ, BJX, HMO, LAP, MXL, MLM, LMM
OMA	13	0.67	54 %	0.73	38 %	CUL, SLP	CUL, SLP, MTY, CJS REX

Como podemos observar, sin considerar al aeropuerto de la Ciudad de México, el grupo aeroportuario con el menor número de aeropuertos ineficientes es el Grupo Aeroportuario del Pacífico, donde los aeropuertos de Guadalajara (GDL), Tijuana (TIJ) y León (BJX) son eficientes. Como se espera usando el modelo BCC se encuentran un mayor número de aeropuertos eficientes, esto se debe a que este modelo considera diferencias por escala entre DMU. El AED permite identificar el tipo de ineficiencia. También presentaremos un comparativo a lo largo del los 7 años del estudio usando del índice Malmquist. Se hablará sobre las ventajas del método con respecto a otras técnicas y la relevancia de este estudio.

Referencias

- Y.-H. Ahn, y H. Min, H. Evaluating the multi-period operating efficiency of international airports using data envelopment analysis and the Malmquist productivity index. *Journal of Air Transport Management*. 39 : 12–22, 2014.
- Charnes, A., Cooper, W. W., y Rhodes, E. *Data Envelopment Analysis, a comprehensive text with models, applications, references and DEA-Solver software*. Springer, 2a edición 2007.

6

Roundoff-Error-Free Framework for the Exact Solutions of Sparse Linear Systems

Christopher Lourenco,¹ Adolfo R. Escobedo², Erick Moreno-Centeno^{1*} y Timothy Davis⁴

¹Industrial & Systems Engineering, Texas A&M University, College Station, TX, USA.

²Computing, Informatics & Decisions Systems Engineering, Arizona State University, Tempe, AZ, USA.

³Computer Science & Engineering, Texas A&M University, College Station, TX, USA.

* Correo electrónico: emc@tamu.edu

Abstract

Obtaining the **exact** rational solution of a system of linear equations, $Ax = b$, is challenging due to the roundoff errors which are intrinsic to the floating point calculations used throughout modern software. These roundoff errors are individually harmless; however they may propagate, accumulate and magnify, ultimately rendering the output of solvers egregiously incorrect. They are particularly problematic for linear systems which are ill-conditioned, numerically unstable, or require many operations to solve (Klotz, 2014). Despite these numerical issues, a plethora of applications, including number theory, mathematical proofs, computational geometry, and exact linear/integer programming, require exactly solving *sparse* linear systems; therefore, it is imperative that efficient algorithms to solve exactly sparse linear systems.

This talk focuses on obtaining exact solutions to the sparse linear systems which arise when solving linear programs (LPs) exactly. Our focus on solving LPs exactly is motivated by the fact that 72% of the real-world linear programs within the NETLIB LP repository are ill conditioned; leading to the conjecture that ill-conditioned linear programs are frequent in practice (Neumaier and Shcherbina, 2004). In fact, the broad goal of solving LPs exactly has been well researched due to the fact that commercial linear programming (LP) solvers come with no guarantee: they may classify feasible solutions as infeasible, infeasible problems as feasible, or suboptimal solutions as optimal (Koch, 2004).

Currently, there are two approaches for solving LPs exactly: certify and repair (Applegate et al., 2007) and LP iterative refinement (Gleixner, 2015). The key fact is they guarantee exactness by exactly solving—via full precision rational arithmetic LU factorizations—the sparse linear systems associated with promising LP bases output by the simplex algorithm. Unfortunately, due to the high computational cost associated with rational arithmetic, these rational LU factorizations serve as the primary bottleneck in solving LPs exactly. Rational LU factorizations are impaired by the fact that they require greatest common divisor (gcd) operations in order to limit the growth of numbers. These gcd operations dominate the factorization construction time (even exceeding 50% of the total run time).

To address the drawbacks of rational LU, the roundoff-error-free (REF) LU factorization was developed. REF LU, along with associated REF forward and backward substitution algorithms, solves a system of linear equations exactly while operating exclusively in integer arithmetic, thereby avoiding gcd operations (Escobedo and Moreno-Centeno, 2015). Based on integer-preserving Gaussian elimination (IPGE), REF LU has the key properties that all of its operations are integral and that each entry's bit size (i.e, number of bits required for storage) is bound polynomially. Computational tests showed that REF LU clearly outperformed rational arithmetic approaches to solving dense linear systems.

It is expected that REF LU would also outperform rational arithmetic approaches to solving sparse linear systems. Therefore, we present a sparse version of REF LU, via the sparse left-looking integer-preserving (SLIP) LU factorization. The SLIP LU framework maintains the integrality and polynomial bound of REF LU while also having the additional property that its computational complexity is proportional to the number of arithmetic operations. This talk derives the following: 1) REF LU may be obtained via a left-looking approach, 2) SLIP LU via implementing sparsity into the left-looking approach, 3) an updated IPGE maximum word length for sparse matrices, 4) computational complexity of SLIP LU, and 5) SLIP LU's superiority to a state-of-the-art rational arithmetic sparse LU factorization routine.

References

- David L Applegate, William Cook, Sanjeeb Dash, and Daniel G Espinoza. Exact solutions to linear programming problems. *Operations Research Letters*, 35(6):693–699, 2007.
- Adolfo R Escobedo and Erick Moreno-Centeno. Roundoff-error-free algorithms for solving linear systems via cholesky and lu factorizations. *INFORMS Journal on Computing*, 27(4):677–689, 2015.
- Ambros M Gleixner. Exact and fast algorithms for mixed-integer nonlinear programming. 2015.
- Ed Klotz. Identification, assessment, and correction of ill-conditioning and numerical instability in linear and integer programs. In *Bridging Data and Decisions*, pages 54–108. INFORMS, 2014.
- Thorsten Koch. The final netlib-lp results. *Operations Research Letters*, 32(2):138–142, 2004.
- Arnold Neumaier and Oleg Shcherbina. Safe bounds in linear and mixed-integer linear programming. *Mathematical Programming*, 99(2):283–296, 2004.

8

Desarrollo de software para la predicción de ventas aplicado a empresas proveedoras de productos químicos

María del Rocío Castillo Estrada* Marco E. Gómez Camarillo

Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Tlaxcala

*Correo electrónico: madelrocio.castillo@uatx.mx

Resumen

Los pronósticos son vitales para toda organización de negocios y para cualquier decisión importante de la gerencia por esta razón se desarrolló un software con la finalidad de mejorar los pronósticos que actualmente utilizan las empresas. El software desarrollado solo requiere información de ventas históricas de tres años para realizar el pronóstico y de un cuarto año, para evaluar la precisión del mismo; el programa calcula los pronósticos utilizando seis técnicas (una de ellas propuesta en función del comportamiento de las ventas y se denominó Doble Promedio Móvil Ponderado), calcula los errores para cada técnica, selecciona la de menor error y realiza los pronósticos anuales, mensuales y elabora las gráficas para cada producto. El programa se utilizó para pronosticar las ventas de los productos de dos empresas en las que utilizaban como técnicas cuantitativas: Promedio Móvil Simple y Proyección de la Tendencia para la predicción de sus ventas; con el software propuesto se mejoró las predicciones en más del 90 % de los productos. El software está escrito en lenguajes PHP y HTML y se puede utilizar para cualquier tamaño de empresa (pequeña, mediana y grande), solo cambiando el tamaño de la matriz; actualmente está registrado en SEP-INDAUTOR Secretaría de Educación Pública-Instituto Nacional de Derecho de Autor, Registro Público, con número de folio 03-2016-042510554500-01

9 Comparación de cuatro medidas de dispersión para un problema de diseño territorial

María Gabriela Sandoval Esquivel,^{1*} Roger Z. Ríos Mercado² y Juan Antonio Díaz García³

¹Depto. de Computación, Electrónica y Mecatrónica,

Universidad de las Américas Puebla, San Andrés Cholula, Puebla.

² Posgrado en Ingeniería de Sistemas, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Universidad Autónoma de Nuevo León,

San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

³Depto. Actuaría, Física y Matemáticas,

Universidad de las Américas Puebla, San Andrés Cholula, Puebla.

* Correo electrónico: mariasandoval@udlap.mx

Resumen El diseño territorial consiste en dividir un área geográfica en territorios que sean del mismo tamaño de acuerdo con ciertos criterios de planificación. En la mayoría de las aplicaciones se desea que los territorios sean conexos y compactos. En la literatura al respecto de problemas de diseño territorial no hay un consenso sobre la mejor medida de dispersión para medir la compacidad de un territorio. Las restricciones de compacidad tienen gran importancia en problemas prácticos y el uso de diferentes medidas conlleva a modelos que son más complejos de resolver. Se consideran cuatro modelos para un problema de diseño territorial que tienen como objetivo diferentes medidas de dispersión. Dos de ellas, las medidas de p-centro y p-mediana, requieren que se defina un centro dentro de cada territorio para medir la distancia de cada unidad del territorio a su centro. Sin embargo, en varias aplicaciones de diseño territorial el concepto de centro no tiene significado práctico porque no hay distinción entre las unidades básicas que forman un territorio. Es por esta razón que se analizan también dos medidas de dispersión que no requieren de centros: la de diámetro y la suma de distancias. Se presentan los modelos de programación entera de cada modelo con sus respectivas restricciones de balanceo y conectividad acordes a la medida de dispersión. Se muestran resultados de experimentación computacional con los cuatro modelos haciendo una comparación de las soluciones que cada uno ofrece.

10

Modelo matemático para el acomodo y recolección de productos en zona de selección

Johanna Bolaños Zúñiga* y Jania Astrid Saucedo Martínez

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

Correo electrónico: johana.bolanoszn@uanl.edu.mx*, jania.saucedo@gmail.com

Resumen

El trabajo de investigación se centra en dar solución a la problemática de una empresa panificadora de la ciudad de Monterrey, en la cual el tiempo promedio empleado en la recolección de pedidos en la zona de selección para cumplir con la demanda prevista, está siendo mayor a lo estipulado por la organización, debido a que el sistema de información WMS (por sus siglas en inglés *Warehouse Management System*), que actualmente poseen, no considera el peso de los productos, lo que conlleva a que los empleados escojan rutas alternas evitando que el peso del artículo que se ubique en la parte superior no afecte al que está debajo del mismo.

Los métodos que permiten la minimización de las distancias de viaje o del tiempo de viaje que los recolectores realizan a través del almacén para cumplir con la demanda, han sido un tema de investigación muy tratado en los últimos años Elbert et al. (2016), centrándose principalmente, tanto en el desarrollo de modelos matemáticos de solución óptima (Scholz et al., 2016) como heurísticos (Daniels et al., 1998; Dekker et al., 2004).

De acuerdo a los anterior, se presenta un modelo matemático que contempla de manera conjunta la asignación de espacios de almacenamiento y el enrutamiento del recolector de pedidos; considerando que cada producto solo podrá ocupar un único espacio, cumplir con la demanda solicitada, respetar la prioridad de peso, los productos de cada pedido se recolectan en un recorrido, por lo tanto se deben evitar los subciclos. Se mostrarán resultados con diversas cantidades de espacios, productos y pedidos.

Referencias

- R. M. Elbert, T. Franzke, C. H. Glock and E. H. Grosse The effects of human behavior on the efficiency of routing policies in order picking: The case of route deviations. *Computers and Industrial Engineering*, 111 (1): 537–551, 2016.
- A. Scholz, S. Henn, M. Stuhlmann and G. Wäscher A new mathematical programming formulation for the Single-Picker Routing Problem. *European Journal of Operational Research*, 253: 68–84, 2016.
- R. L. Daniels, J. L. Rummel and R. Schantz A model for warehouse order picking. *European Journal of Operational Research*, 105: 1–17, 1998.
- R. Dekker, M. B. M. De Koster, K. J. Roodbergen and H. van Kalleveen Improving Order Picking Response Time at Ankor's Warehouse. *Interfaces*, 34(4): 303–313, 2004.

12

Asignación flexible de choferes, vehículos y viajes en un sistema de transporte público

Francisco Gerardo Meza Fierro*, Citlali Maryuri Olvera Toscano, Yasmín Agueda Ríos Solís
Programa de Posgrado en Ingeniería de Sistemas, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

* Correo electrónico: lmfgmf@hotmail.com

Resumen

Cuando se piensa en el servicio de transporte público es normal recordar ciudades del primer mundo como Londres, Múnich o Tokio, donde este servicio es eficiente, rápido y puntual, lo que incita a las personas de estas ciudades a ser clientes frecuentes de este servicio. Sin embargo, en ciudades como Monterrey y muchas otras ciudades latinoamericanas, hay una problemática diferente a las ciudades del primer mundo puesto que la organización y asignación de sus unidades y choferes para realizar los viajes que se tienen en el día se resuelve casi diariamente ya que la cantidad de choferes y autobuses disponibles es muy variable.

Este problema se vuelve interesante de estudiar y resolver ya que se compone de dos problemas conocidos como el problema de asignación de vehículos y el problema de asignación de personal, donde el objetivo que principalmente se tiene es de minimizar los costos que se puedan generar como el uso de los autobuses o el salario de los choferes, siempre respetando las políticas que la empresa tenga.

El presente trabajo busca resolver estos problemas NP-difíciles de manera integral a través de un método heurístico propuesto, añadiendo (i) el hecho de que la duración de los viajes puede aumentar o disminuir por diversas razones como lo son los accidentes, el tráfico o incluso la experiencia del chofer que realiza el viaje y (ii) un balanceo en las horas de trabajo de los choferes, es decir que se procura que todos los choferes trabajen una cantidad similar de horas.

Referencias

Vincent Boyer, Omar J.Ibarra-Rojas, Yasmín Agueda Ríos. *Vehicle and Crew Scheduling for Flexible Bus Transportation Systems, Transportation Research B: Methodological*, 2017.

13

Problema de asignación de tiempos en la organización de una línea de ensamblaje

Beatriz A. García,^{1*} y Dra. Yasmín A. Ríos-Solís.²

¹Posgrado en Ingeniería de Sistemas, Universidad Autónoma de Nuevo León,
San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

* Correo electrónico: beatriz.ale.gr@hotmail.com

Resumen El proceso de planificación de una empresa de inyección de plástico implica determinar el tamaño de lote óptimo de los productos y la asignación de piezas a los moldes y moldes a las máquinas para fabricar los productos. El tamaño de lote de un producto debe considerar el conjunto de piezas necesarias para ensamblar el producto. Algunas piezas pueden ser necesarias para más de un producto; cada pieza tiene un conjunto de moldes que pueden producirla; cada molde puede ser diferente debido a sus especificaciones técnicas como el número de cavidades que determina la cantidad de piezas que se fabrican en cada ciclo de inyección; un molde puede producir varios tipos de piezas, pero solo un tipo a la vez; finalmente, cada molde se puede montar en una cierta cantidad de máquinas para producir las piezas de plástico. La tasa de producción varía de acuerdo con el molde y la asignación de la máquina. Cuando se resuelve dicho problema de asignación en la línea de producción no se menciona en qué momento la línea de ensamblaje puede comenzar a ensamblar las piezas que se van produciendo. Es por eso que el área de interés en esta investigación es determinar el momento preciso en el cual se puede comenzar a realizar el ensamblaje de las piezas mientras el área de producción sigue trabajando de tal manera que al final del día todas las piezas sean ensambladas, es decir, minimizar el tiempo de ocio de la línea de ensamblado.

Para ello se deben tomar en cuenta ciertas consideraciones, como el tiempo que tarda la máquina en producir la pieza, cuántas personas estarán trabajando en la línea de ensamble, cuánto tiempo tarda cada persona en ensamblar, cuántas personas habrá en cada estación de ensamblaje, si el producto plástico tiene un orden de ensamble o si se pueden hacer subensambles. Se propondrá un modelo en el cual se logren unir ambas áreas (producción y ensamblaje), de tal manera que los resultados indiquen en qué preciso momento se debe comenzar a ensamblar para maximizar la cantidad de productos finales ensamblados. Se realizará experimentación para obtener resultados que validarán el modelo propuesto.

14

Una forma de disminuir el agrupamiento de camiones

Citlali Maryuri Olvera Toscano,^{1*} y Yasmín Ríos Solís¹

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

* Correo electrónico: citlali.olverats@uanl.edu.mx

Resumen

En el transporte urbano, una de las principales quejas es la espera en exceso de un camión. La queja por parte del usuario se incrementa al observar un agrupamiento de camiones, esto es que dos o más camiones se encuentren juntos en una misma parada.

El estudio de la operación en el sistema de transporte urbano, específicamente el de camiones, se divide dos áreas principales, la planificación de rutas y el control en tiempo real. El proceso de planificación de rutas implica decisiones estratégicas (frecuencia de salida de los camiones), tácticas (ubicación de las paradas y definición del horario de llegada en cada parada de los camiones) y operacionales (programación de salida de camiones, llegada de choferes y plan de mantenimiento de camiones). Por otro lado, el control en tiempo real intenta mantener la frecuencia de llegada a cada parada de los camiones durante el transcurso del día con la finalidad de minimizar cualquier inconveniente causado por el tráfico vial. Durante el transcurso del día, los cambios en flujo de pasajeros, el tráfico vial e incluso el horario del día provoca modificaciones a la frecuencia de llegada de cada camión a la parada dando lugar al agrupamiento de camiones.

Este trabajo presenta un modelo que simula el flujo de una ruta de transporte en del área metropolitana de Monterrey, así como un modelo de optimización que determina los horarios de las paradas de modo que se minimice el tiempo de espera de los usuarios en las paradas. Tanto la modelación como la aplicación que se presentarán en este trabajo son temas de interés para los asistentes del congreso.

Referencias

- Hickman MD. An analytic stochastic model for the transit vehicle holding problem. *Transportation Science*, 35 (3): 215—237, 2001.
- Delgado F, Muñoz JC, Giesen R, Cipriano A. Real-time control of buses in a transit corridor based on vehicle holding and boarding limits. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2090 (1):59—67, 2009.
- Delgado F, Munoz JC, Giesen R. How much can holding and/or limiting boarding improve transit performance? *Transportation Research Part B: Methodological*, 46 (9):1202— 1217, 2012.

15

Un problema de empaquetamiento irregular arqueológico

Marta Cabo Nodar,^{1*}, Julia A. Bennell², Carlos Lamas Fernández ², Antonio Martínez Sykora ²

¹Departamento de Matemáticas, ITAM, México.

²Southampton Business School, University of Southampton, UK

* Correo electrónico: marta.cabo@itam.mx

Resumen

Este artículo explora el uso de metodologías de corte y empaquetamiento en una nueva e innovadora área, cómo es la arqueología. Las culturas pre-hispánicas en México utilizaban códices para registrar diferentes aspectos de su vida, en particular también registraban sus propiedades y sus cultivos. Cada familia registraba la cantidad de lotes que poseían, junto con algunas mediadas acerca de su dimensión en un códice. Estos códices se han descifrado, y utilizando las metodologías presentadas por Barbara J. Williams y María del Carmen Jorge y Jorge (2008) tenemos información precisa acerca de la longitud de cada uno de los lados de cada terreno y el área que cubre. Utilizando dichas dimensiones, cada terreno puede ser reconstruido como un polígono. Además se sabe el lugar preciso donde estos terrenos estaban ubicados.

Esta descripción se adecúa a la de un problema de empaquetamiento bi-dimensional con un contenedor (bin) irregular y piezas irregulares que pueden ser rotadas. Aunque el empaquetamiento de piezas irregulares ha sido estudiado activamente por muchos años, el trabajo normalmente se enfoca en empaquetar una tira rectangular para cortar material para la manufactura (telas, rollos de papel etc.). En este trabajo el problema es sustancialmente diferente, sin embargo nos apoyamos en lo visto en Bennell y Oliveira (2008, 2009) para el tratamiento geométrico de las piezas, y el diseño de algoritmos.

Durante esta presentación, presentaremos el problema y algunas complejidades específicas que nos llevan a concluir que la metodología elegida debe generar un rango de soluciones diferentes. Presentaremos una formulación del problema, y el uso de algunas heurísticas sencillas para encontrar un conjunto de soluciones.

Referencias

- Barbara J. Williams, María del Carmen Jorge y Jorge. *Aztec arithmetic revisited: Land-area algorithms and Alcolhua congruence arithmetic*. Science 320, 72 – 22, 2008.
- Julia A. Bennell, Jose F. Oliveira. *The geometry of nesting problems: A tutorial*. European Journal of Operational Research, 183, 397 – 415, 2008.
- Julia A. Bennell, Jose F. Oliveira. *A tutorial in irregular shaped packing problems*. Journal of the Operational Research Society, 60, s93 – 105, 2009.

16

Optimización de un ciclo de operación de un reactor nuclear usando redes neuronales y colonias de hormigas

Juan José Ortiz-Servin*, Alejandro Castillo, José Luis Montes, Raúl Perusquía
Dpto. de Sistemas Nucleares, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Mexico.

* Correo electrónico: juanjose.ortiz@inin.gob.mx

Resumen

La optimización de un ciclo de operación en un reactor nuclear consiste en resolver 4 problemas de optimización combinatoria: el diseño de celdas de combustible, el diseño del ensamble de combustible, el diseño de la recarga de combustible y el diseño de los patrones de barras de control a plena potencia. El diseño de la celda de combustible consiste en colocar barras de uranio enriquecido y gadolinia en un arreglo de $N \times N$ localidades, de modo que se minimice el pico de potencia de la celda. El diseño del ensamble de combustible consiste en colocar las celdas diseñadas en la fase previa, en un arreglo vertical de 25 localidades de modo que el perfil axial de potencia se ajuste a un perfil predeterminado. En el diseño de la recarga de combustible, ensambles de combustible de distintos quemados y los ensambles de combustible diseñados en la fase previa, se deben colocar en el núcleo del reactor de modo que se maximice la energía del ciclo y se cumplan los límites de seguridad. Finalmente, en el diseño de los patrones de barras de control, se debe determinar las posiciones de las barras de control para mantener la producción de energía constante y dentro de los parámetros de seguridad.

En la literatura existen trabajos donde se resuelven cada uno de estos cuatro problemas de forma separada. Por ejemplo, se optimiza la recarga de combustible asumiendo que los ensambles de combustible y los patrones de barras de control ya fueron optimizados por algún mecanismo externo. Sin embargo, para poder optimizar el desempeño del reactor durante un ciclo de operación, es necesario realizar la optimización de los 4 problemas en forma acoplada. La recarga de combustible y los patrones de barras de control se deben optimizar de forma iterativa donde uno es resuelto y el otro se mantiene inmutable. En la siguiente iteración, el primero permanece inmutable y el segundo es resuelto.

El objetivo de este trabajo fue construir un sistema de optimización que resuelva los cuatro problemas de optimización. Primero se construye la celda de combustible de acuerdo a los requerimientos de energía. Después de construir el ensamble de combustible y finalmente se realiza un proceso iterativo en el que la recarga de combustible y los patrones de barras de control se optimizan sucesivamente. El diseño de la celda de combustible se hace mediante una red neuronal recurrente multi-estado. El ensamble de combustible se dividió en 6 secciones, 3 secciones con uranio enriquecido donde se coloca la celda optimizada previamente y 3 secciones con uranio natural. La recarga de combustible se optimizó con otra red neuronal recurrente multi estado. Finalmente, los patrones de barras de control se optimizan mediante la técnica conocida como colonia de hormigas.

Para mostrar las capacidades del sistema de optimización desarrollado, se optimizó un ciclo de operación que consiste de dos tipos de combustible fresco. La duración del ciclo se mide con la variable keff-EOR que indica cómo se comportaría la potencia del reactor para cierto valor de quemado. Si keff-EOR es menor que 0.9972 (para este ciclo en particular), el ciclo no alcanza los requerimientos de energía. Si keff-EOR es mayor que 0.9972, la energía producida es mayor que la del ciclo de referencia que se estudia. Los parámetros de seguridad que se vigilan son los límites térmicos FLPD (densidad de generación de calor) y MAPRAT (generación de calor promedio en un plano) que deben ser menores a 0.96 y el margen de apagado en frío (SDM) que debe ser mayor a 1.2. La Tabla 1 muestra los valores de keff-EOR, FLPD, MAPRAT y SDM de algunas ejecuciones del sistema de optimización.

Tabla 1: Comportamiento del ciclo de operación para 3 ejecuciones del sistema de optimización

Caso	keff-EOR	FLPD	MAPRAT	SDM
1	0.99933	0.956	0.933	1.49
2	0.99840	0.957	0.943	1.46
3	1.00263	0.959	0.907	1.49

Como se puede ver, en los tres casos, los parámetros de seguridad se cumplen y la keff-EOR es mayor a 0.9972, lo que garantiza que se cumple con las expectativas de energía y seguridad. El sistema de optimización desarrollado es capaz de realizar el diseño completo de un ciclo de operación a través de la solución acoplada de los cuatro problemas que lo constituyen.

Multiple criteria approach for measure Caribbean tourism destinations competitiveness: The Goal Programming Synthetic Index.

Victor E. Pérez^{1,*}, María A. León¹, Flor Guerrero², and Rafael Caballero³

¹Mathematics Department, University of Pinar del Río. Pinar del Río, Cuba

² Department of Quantitative Methods and Economic History, Pablo de Olavide University. Seville, Spain.

³Department of Applied Economics (Mathematics), University of Málaga. Málaga, Spain.

*E-mail: vpoleon@upr.edu.cu

Abstract

This study aims to propose an index for measure tourism destinations competitiveness. The proposal was developed from multiple criteria decision theory, specifically based on goal programming. Were considered 33 destinations from Central America and The Caribbean region. We used 27 indicators grouped in four subindexes and 12 pillars, similar to the Travel and Tourism Competitiveness Index of the World Economic Forum. The methodology is an approach from the Multiple Criteria Decision Theory (MCDM) (Diaz-Balteiro & Romero, 2004; Blancas et al., 2010; Pérez et al., 2016), specifically in Goal Programming. It was transformed with the aim to improve its explanatory power, which constitutes one of its advantages. It use highlights the strengths and weaknesses for each destination in the observed dimensions. Furthermore, it is possible to determine the amount needed in any given indicator to achieve a higher competitiveness degree. Considering a set of m initial indicators (I_j with $j=1, 2, \dots, m$), for n units (U_i , with $i=1, 2, \dots, n$) where X_{ij} represents the value of the i th unit valued in the j th indicator with $1 \leq i \leq n$ and $1 \leq j \leq m$. Firstly, we differentiate between positive and negative indicators, depending on the improvement direction “more is better” or positive (I_{ij}^+) or “less is better” or negative (I_{ik}^-). In such that way, X_{ij}^+ represents the value for the i th unit in the j th positive indicator, with $j \in J$, (J , positive indicators) and X_{ik}^- is the value of the i th unit in the k th negative indicator, with $k \in K$, (K , negative indicators group). Then we determine the achievement levels or the target for each indicator, u_j^+ for the positive and u_k^- for the negative. Later we create the goals introducing the deviation variables to measure the difference between the indicator value and the target:

For positive: $I_{ij}^+ + n_{ij}^+ - p_{ij}^+ = u_j^+$ with $n_{ij}^+, p_{ij}^+ \geq 0, n_{ij}^+ \cdot p_{ij}^+ = 0$ (1)

For negative: $I_{ik}^- + n_{ik}^- - p_{ik}^- = u_k^-$ with $n_{ik}^-, p_{ik}^- \geq 0, n_{ik}^- \cdot p_{ik}^- = 0$ (2)

Where n_{ij}^+ is the undesirable variable for positive indicators and p_{ik}^- the undesirable variable for negative. This procedure allows obtaining several indexes and we choose the Net Goal Programming Synthetic Index GPSIN, for its compensatory character among the strength and weaknesses for each unit under evaluation. This index evaluates the relative situation of each unit without demanding the execution of all the aspiration level to determine the sustainability degree for a destination versus their competitors. The GPSI methodology has several advantages over other statistical methods. It requires no previous normalization method; furthermore, can be applied to a great number of indicators. Additionally, is created using the information contained in all indicators selected and thus there is no loss of information and results are easy to interpret. As an additional information, results have a high correlation with the TTCI scores. In this sense, it could be possible to achieve a regional competitiveness index based on GPSI results with the strength of the TTCI values.

References

- Blancas, F. J., Caballero, R., González, M., Lozano, M., & Pérez, F. (2010). Goal programming synthetic indicators: An application for sustainable tourism in Andalusian coastal counties. *Ecological Economics*, 69, 2158–2172.
- Diaz-Balteiro, L., & Romero, C. (2004). In search of a natural systems sustainability index. *Ecological Economics*, 49, 401–405.
- Pérez, V. Hernández, A., Guerrero, F. León, M. A. Caballero, R., & da Silva, Ch. (2016) Sustainability Ranking for Cuban Tourist Destinations Based on Composite Indexes. *Social Indicators Research*, 129 (1) 425–444. DOI: 10.1007/s11205-015-1110-7.

19

Programación lineal entera mixta como herramienta para el rediseño de una cadena de abastecimiento

Daniela Román Echevarría* y Jania Astrid Saucedo Martínez

¹Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León.

* Correo electrónico: daniela.romanch@uanl.edu.mx

Resumen

La teoría de localización industrial de Weber (1965), indica que los recursos requeridos por las fábricas carecen de ubicuidad y determina la relación distancia-costo existente entre los agentes: a mayor distancia entre la planta productiva, los proveedores y el mercado, mayores serán los costos logísticos y menor el rendimiento de la organización. ¿Qué sucede cuando los recursos que una fábrica requiere no se ubican en las cercanías de la misma, sino, en otra ciudad o continente? El problema de localización de instalaciones presenta un conjunto de ubicaciones discretas de proveedores y un conjunto de ubicaciones potenciales para las instalaciones. Éste, busca minimizar los costos de transporte a través de la determinación de las políticas de envío entre los proveedores y las instalaciones potenciales, considerando las capacidades de dichas instalaciones y la satisfacción de la demanda de la fábrica.

Las decisiones sobre localización de instalaciones afectan en el largo plazo a la compañía, ya que sus consecuencias durarán el tiempo que dicha instalación se mantenga en funcionamiento. A pesar de una excelente planeación, control de inventarios o tarifas ofrecidas por los transportistas, los centros de distribución o consolidación mal ubicados, obstaculizarán el desempeño de la organización, provocando fugas de capital (Daskin et al., 2005).

Se presenta un modelo matemático basado en el problema de localización de instalaciones que se aplica a una empresa cuyos proveedores realizan embarques LCL (*Less than a Container Load*) desde diferentes países europeos hacia la fábrica ubicada en Monterrey. Por cada requerimiento de producto, se dispara una orden de compra. Las frecuencias dispersas y los bajos volúmenes por proveedor impiden que cada uno de ellos sea capaz de consolidar sus envíos en cargas propias FCL (*Full than a Container Load*). Los envíos LCL son embarcados por cada proveedor de manera independiente desde 3 puertos europeos. Posteriormente, las cargas son consolidadas con embarques de otros clientes, con destino al puerto mexicano. Una vez concluidos los procesos de desconsolidación de carga en el puerto destino, así como de los trámites aduaneros de importación, los *pallets* son transportados vía terrestre hasta las instalaciones de la fábrica en el estado de Nuevo León. Partiendo de la premisa de que el costo de un *pallet* FCL es menor al costo de uno LCL, se realiza un análisis costo-beneficio a través del cual, se busca favorecer a la empresa al momento de ubicar centros de consolidación en Europa, ya sean rentados o contruidos. Considerando un modelo matemático lineal entero mixto, se pretende determinar el patrón de envío entre los proveedores europeos, los centros de consolidación potenciales, los puertos de origen, el puerto destino y la fábrica. El problema de localización de instalaciones a resolver por dicho modelo, se cataloga como capacitado, multietapas (R. Z. Farahani y M. Hekmatfar., 2009), multitransporte, multiproducto (Klose y Drexel, 2003) y multiperíodo.

Utilizando la información histórica de la empresa de las semanas 01 a 52 del 2017, se presentan 3 propuestas de escenarios posibles:

1. Análisis de la situación actual.
2. Ubicación de los centros de consolidación potenciales en cada uno de los puertos de origen.
3. Ubicación de un centro de consolidación que minimice la distancia entre los proveedores, determinado a través de *p-medianas*.

Como resultado esperado, se tiene la determinación del mejor patrón de envío para el diseño de la cadena de abastecimiento que logre minimizar los costos de transporte totales, ofreciendo a la empresa una herramienta cuantitativa que contribuya a la mejora de la ubicación de su centro de consolidación, reduzca el *leadtime* puerta-puerta y asegure la entrega en tiempo de los materiales, cuidando los niveles de inventario y evitando paros de línea.

Referencias

- Alfred Weber. *Theory of the location of industries*. The University of Chicago Press, 1965. ISBN 9780226264691.
- M.S. Daskin, L. V. Snyder y R. T. Berger. Logistics Systems: Design and Optimization. *Facility Location in Supply Chain Design* Springer US, 2005. pp 39-65.
- Reza Zanjirani Farahani y Masoud Hekmatfar. *Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies*. Springer US, 2005. ISBN 9783790821512.
- Andreas Klose y Andreas Drexel. Facility location models for distribution system design. *European Journal of Operational Research*. Volume 162, Issue 1 4-29, 2003.

Autómata para el mercado accionario usando Martingalas

Jaime Alberto Gómez Vilchis, Federico Hernández Álvarez y Luis Ignacio Román
Departamento de Ingeniería en Sistemas, Facultad de Ingeniería,
Universidad Nacional Autónoma de México
Banco de México.

Correo electrónico: jaimberto@hotmail.com

Resumen

Una forma de invertir comprando y vendiendo un activo financiero, es utilizando una estrategia que defina cuándo se debe comprar, vender o mejor no invertir en el activo. Así mismo, definiendo niveles de ganancia A y de pérdida B , y el tiempo límite de espera antes de llegar a estos niveles. Una herramienta matemática que ayuda a plantear estrategias con base a este tipo de información, son las martingalas.

Los rendimientos de un activo financiero se pueden ver como una sucesión de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas $\xi_1, \xi_2, \dots$ donde el rendimiento acumulado al tiempo n se escribe como $X_n = \xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_n$. Esta sucesión es una serie discreta de puntos en el tiempo. Por otro lado, sea una filtración $\{\mathcal{F}_n\} = \sigma\{X_1, \dots, X_n\}$ ¹ una colección creciente de σ -álgebras tal que $\{\mathcal{F}_n\} \subseteq \{\mathcal{F}_m\}$ cuando $n \leq m$, la filtración se interpreta cómo la información hasta el instante n del proceso estocástico X_m . Entonces, un proceso estocástico $\{M_n\}$ es una martingala si se satisface la siguiente condición $E(X_n | \mathcal{F}_m) = E(X_{n+1}, X_{n+2}, \dots, X_m) = X_m$, donde $n \leq m$, es decir, se puede establecer que el rendimiento esperado para el tiempo futuro n está dado por la historia de los rendimientos al tiempo m , por lo tanto se tiene que $\{M_n\}$ es la martingala respecto del proceso X_n ². Así mismo, sea una secuencia de variables aleatorias $\{A_n : 1 \leq n < \infty\}$ llamada no anticipada con respecto a la secuencia $\{\mathcal{F}_n\}$, esta variable no anticipada es una función que depende solo de la información de $\{\mathcal{F}_{n-1}\}$, es decir, para todo $1 \leq n < \infty$, se tiene $A_n \in \mathcal{F}_{n-1}$ ³, y es conocida antes de decidir si se compra, se mantiene, o se vende una acción. La restricción sobre A_n permite al inversionista informarse antes de decidir sobre la n -ésima jugada (inversión). El proceso $\{A_n : 0 \leq n < \infty\}$ definido para $\tilde{M}_0 = M_0$ y calculado como: $\tilde{M}_n = M_0 + A_1(M_1 - M_0) + A_2(M_2 - M_1) + \dots + A_n(M_n - M_{n-1})$ para $n \geq 1$, es llamada **la transformada de martingala** $\{\tilde{M}_n\}$ de $\{M_n\}$ por $\{A_n\}$. La característica de la transformada de martingala es que se pueden construir nuevas martingalas a partir las anteriores. Finalmente, si se define una v.a. τ como el tiempo de paro, donde si $\tau = \min\{n : M_n = A \text{ o } M_n = -B\}$ es decir, que se llegó al Rendimiento A antes de perder B , si $\{\tilde{M}_n\}$ es una martingala respecto de $\{\mathcal{F}_n\}$, entonces el proceso de paro $\{\tilde{M}_{n \wedge \tau}\}$ también es una martingala respecto de $\{\mathcal{F}_n\}$.

Las definiciones anteriores se pueden utilizar para construir estrategias que un autómata seguirá; en particular las estrategias se definen sobre la variable no anticipada A_n , esperando que se cumpla lo siguiente $A\{X_n\} = \tilde{M}_{n \wedge \tau}$, por lo tanto el autómata será capaz de ejecutar acciones con base al comportamiento de la variable no anticipada A_n . Esta estrategia contempla la variable no anticipada, los límites de ganancia A y pérdida B y el tiempo límite de paro. En otras palabras, la estrategia de inversión buscará un rendimiento objetivo A , antes de perder B , el cual es la pérdida máxima que se acepta. Así mismo, para cada momento n la variable no anticipada A_n evaluará si se compra, vende o se mantiene el activo, dependiendo si se tiene la posesión del activo o no, así también el autómata, si se está en posesión del activo, evaluará la conveniencia de seguir la inversión. Usando una martingala $\{\tilde{M}_{n \wedge \tau}\}$, se desarrolló un autómata computacional el cual manda señales o alertas una vez se cumplan los criterios definidos por A_n , los límites A y B y el tiempo límite, estas alertas servirán para la toma de decisiones con base al juego al tiempo n .

Se evaluó los rendimientos que se obtendrían al utilizar el autómata durante varios periodos de tiempo (antes, durante y después la crisis del 2008) versus la estrategia de mantener la inversión, en particular se tomó el índice de Apple. En general los resultados fueron muy favorables en el sentido que durante la crisis se pudieron prevenir pérdidas, antes de la crisis y después de esta se observaron rendimientos acumulados superiores al 20 %, lo que muestra que el definir estrategias y más aún el utilizar las herramientas computacionales para implementarlas genera beneficios para aquellos que desean incursionar invirtiendo en el mercado de capitales.

Referencias

- [1] Steele J. Michael. *Stochastic Calculus and Financial Applications*. Springer, 2001.
- [2] Venegas Martínez Francisco. *Riesgos financieros y económicos*. Cengage Learning, 2008.
- [3] Rincón Luis. *Introducción a los procesos estocásticos*. Facultad de Ciencias, UNAM.
- [4] Marín Vigueras José María, Rubio Gonzalo. *Economía financiera*. Antoni Bosh editor, 2010, España.
- [5] <http://www.bolsaytrading.com/2016/06/martingala-que-es-como-funciona.html>
- [6] <https://udetraders.com/blog/la-temible-estrategia-martingala/>

¹ $\sigma\{X_1, \dots, X_n\}$ es la σ -álgebra generada por el proceso $X_1, \dots, X_n$ heurísticamente es la información a la que tenemos acceso.

²Cabe aclarar que, para este caso, una martingala no se emplea para modelar series financieras, la martingala será empleada para representar la evolución del capital de un inversionista.

³La ecuación se lee, una variable no anticipada A_n es una función que depende únicamente de la información $\{\mathcal{F}_{n-1}\}$.

Desarrollo de procedimientos para determinar una ruta de distribución y suministro en una empresa de manufactura

Jessica Lizeth Salazar Norato* y E. Lucero Ozuna Espinosa

Universidad Autónoma de Nuevo León,
San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

* Correo electrónico: jessicasalazarn21@gmail.com

Resumen

Actualmente, una empresa dedicada a la manufactura de compresores presenta un problema en su red de distribución, el cual consiste en una unidad que hace viajes en la zona conurbada de Monterrey, NL para llevar material desde proveedores en diferentes puntos de la zona hacia planta, y llevar producto terminado desde planta hacia un Centro de Distribución o directamente hacia el cliente. La unidad tiene un desperdicio de tiempos y movimientos ya que no tiene una ruta que seguir en el día a día, por lo que va a los puntos a los que le solicitan material. Una premisa de este problema es que la planta debe de tener un inventario de seguridad de materia prima, que es el material que recibe de sus proveedores. Y de forma contraria, un bajo inventario de producto terminado en planta ya que es un sistema made to order y no se cuenta con un área para almacenar; por lo que el producto terminado debe de ser enviado al Centro de Distribución o a cliente. El objetivo es determinar la ruta que debe seguir la unidad para no desabastecer la planta de materia prima y entregar producto terminado al cliente a tiempo.

El problema se aborda como un Inventory Routing Problem, el cual es una variante del Vehicle Routing Problem, que de acuerdo a Nambirajan, Mendoza, Pazhani, Narendran y Ganesh (2016) permite la integración del ruteo y de la distribución al permitir enviar productos por una ruta elegida a un grupo de clientes con demanda variable y la administración de su inventario, de manera que ningún cliente se quede sin stock.

La propuesta de resolución es dividir el problema en tres etapas, en la primera etapa se tiene la agrupación de nodos basados en la proximidad, seguido de la asignación de la demanda a cada uno de los nodos, y por último, en la última etapa, el ruteo del vehículo a través de los nodos para tener como resultado la ruta óptima a seguir. Dabiri, Tarokh & Alinaghian (2017) mencionan que uno de los objetivos principales del problema de ruteo de inventarios es la optimización simultánea de los costos de inventario y los costos de distribución; que aunque no sea el objetivo principal de esta investigación, se toma como beneficios para la línea transportista al minimizar la utilización de combustible y beneficio para la planta al optimizar los niveles de inventarios.

A pesar de que algunos algoritmos de programación lineal muestran una solución exacta, es difícil desarrollar un algoritmo que resuelva el problema de ruteo de inventarios por ser un problema de tipo NP-hard (Iassinovskaia, Limbourg & Riane, 2017), por lo que es necesaria la utilización de heurísticas que logren el mejor resultado con un esfuerzo computacionalmente razonable para este tipo de problema con aplicaciones prácticas. (Nambirajan et al., 2016)

Referencias

- [1] Dabiri, N., Tarokh, M. y Alinaghian, M. (2017). New mathematical model for the bi-objective inventory routing problem with a step cost function: A multi-objective particle swarm optimization solution approach. *Applied Mathematical Modelling*, 49(1): 302–318.
- [2] Iassinovskaia, G., Limbourg, S., & Riane, F. (2017). The inventory-routing problem of returnable transport items with time windows and simultaneous pickup and delivery in closed-loop supply chains. *International Journal of Production Economics*, 183(1):570–582.
- [3] Nambirajan, R., Mendoza, A., Pazhani, S., Narendran, T. & Ganesh, K. (2016). TCARE: Heuristics for two-stage multi-product inventory routing problems with replenishments. *Computers & Industrial Engineering*, 97(1):41–57.

23

Bi-objective mixed-integer programming model for disaster resource allocation

Esteban Ogazón-González* y Neale R. Smith Cornejo
Tecnológico de Monterrey. Escuela de Ingeniería y Ciencias

*Correo electrónico: A00824163@itesm.mx

Abstract

The main goal of the initial response phase after an emergency situation is to minimize the total number of fatalities. A key strategic issue in pre-disaster planning for humanitarian logistics is the pre-establishment of inventory and transportation capacity that enable efficient relief operations. This paper develops a mixed integer linear programming model to guide the allocation of budget to acquire and position relief assets given a demand scenario in each disaster zone, decisions that typically need to be made well in advance before a disaster strikes. The bi-objective model is focused on minimizing the maximum amount of missing resources within the demand locations and the largest travel time required to mobilize the commodities between the warehouses and their destinations.

24

Estudio computacional sobre la implementación de un programa de trasplante renal cruzado en México

Michel A. Herrera Medrano^{1*}, Roger Z. Ríos Mercado¹,
Sommer E. Gentry² y Homero A. Zapata Chavira¹

¹Posgrado en Ingeniería de Sistemas, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Universidad Autónoma de Nuevo León,
San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

²Johns Hopkins University, Estados Unidos.

* Correo electrónico: mic_fime19@hotmail.com

Resumen

Una alternativa para pacientes que sufren de insuficiencia renal y que necesitan el trasplante de un riñón para poder sobrevivir, es el de conseguir un donante vivo, típicamente un familiar cercano. Cuando este donante vivo es incompatible con su correspondiente paciente no es posible efectuar el trasplante directamente; sin embargo, es posible participar, como pareja, en un programa de trasplantes renales cruzados con otras parejas incompatibles en situación similar. Si se encuentra, por ejemplo, una pareja incompatible donde el paciente de la primera pareja es compatible con el donador de la segunda pareja y viceversa, es posible efectuar un trasplante renal cruzado entre estas dos parejas para beneficiar a ambos pacientes. Formalmente, el problema de optimización combinatoria de trasplante renal cruzado (Kidney Exchange Problem) consiste en, dado un subconjunto de parejas incompatibles, encontrar la máxima cardinalidad de asignaciones cruzadas, que equivale a salvar al mayor número de personas. Este tipo de programas ya han estado operando muy exitosamente en varios países de primer mundo; sin embargo, en México es inexistente hasta la fecha. En esta charla se presenta un estudio computacional que pretende ilustrar el efecto que tendría la implementación de un tipo de programa de este tipo en México. Para este estudio se utilizaron datos provenientes de la población mexicana tanto de tipo sanguíneo como de las condiciones actuales de los pacientes en las listas de espera. Los resultados muestran contundentemente el impacto positivo de la implementación de dicho programa.

Técnicas de optimización y control de inventarios para mejorar la colocación de pedidos con tiempos de espera largos

Nancy Yoana Amador Molina^{1*} y Miguel Mata¹

¹Posgrado en Logística y Cadena de Suministro,

Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolas de los Garza, Nuevo León.

* Correo electrónico: nancyamadormolina@gmail.com

Resumen

La cadena de suministro gestiona las relaciones entre proveedores y clientes con el fin de entregar bienes con un valor agregado y al menor costo. Para lograr esto, se lleva a cabo el proceso logístico de gestionar estratégicamente la adquisición, movimiento y almacenamiento de materiales así como los flujos de información relacionados con estas actividades a través de las organizaciones y sus canales de comercialización, de manera que la rentabilidad actual y futura de las empresas sea sostenible (Christopher, 2016).

Cuando los tiempos de abastecimiento son largos, hay dos actividades claves para garantizar una eficiente colocación de pedidos de los productos: la priorización de mercancías y un control óptimo de inventarios de seguridad. Para esta tarea la clasificación multicriterio ofrece una buena opción, productos con distintas características como margen, volumen y variabilidad de ventas, pueden ser clasificados para establecer niveles de servicio y políticas eficientes de inventarios (Babai et al., 2015). Por su parte, en la política de control de inventarios de revisión periódica, donde el período de revisión es fijo, pero la cantidad de la orden es variable, el factor crítico es establecer un nivel de inventario de seguridad óptimo enfocado al nivel de servicio que se desea dar y que permita atender la demanda durante el lapso de espera (Cholodowicz y Orłowski, 2015).

El objetivo de esta investigación es aplicar técnicas de optimización y control de inventarios para mejorar la colocación de pedidos con tiempo de espera largo en una pyme comercializadora de la región, en la cual, 68 % de su catálogo se conforma de productos nacionales y 32 % de productos importados. Los productos importados aportan un ingreso en ventas anual de 43 %, dejando al mercado nacional con el 57 %. Es decir, con solamente la tercera parte del catálogo, los artículos importados captan virtualmente la mitad los ingresos; sin embargo, este tipo de mercancía posee largos tiempos de espera a partir de que se coloca el pedido (aproximadamente 3 meses). Debido a los largos periodos de entrega y falta de implementación de políticas de inventarios, a lo largo del año pasado la comercializadora presentó desabasto de mercancía en el 80 % de los artículos que mayor venta registran.

Para realizar un pedido, la empresa opta por importar un contenedor con la variedad de artículos que desea abastecer, buscando que el contenedor llegue al límite de su capacidad. Se debe elegir meticulosamente cuáles son los productos que tienen un mayor beneficio, para que así, sean éstos los que se envíen en un contenedor. Los modelos de optimización para llenar contenedores pueden ser complejos y diversos de acuerdo a las características que se aborden (Rashidi y Tsang, 2013).

En esta investigación se busca un beneficio dinámico, contemplando el monitoreo de las ventas, conociendo el movimiento de los inventarios y realizando una clasificación del producto de acuerdo a su relevancia. Como parte de la metodología, se asigna un parámetro de beneficio a cada producto que se desea importar: conforme el producto se va agotando y de acuerdo a su clasificación estratégica, el parámetro de beneficio será mayor. En cambio, cuando el producto está cerca de su inventario ideal y es un producto de menor relevancia en la clasificación estratégica, tendrá un parámetro de beneficio menor. Con este parámetro y con las características físicas del producto (volumen y peso) y las del contenedor (capacidad y peso máximo), se realizó un modelo matemático de optimización entera para mejorar la toma de decisiones en el abastecimiento de productos de la empresa.

Referencias

- Mohamed Z. Babai, Talel Ladhari y I. Lajili. On the inventory performance of multi-criteria classification methods: empirical investigation. *International Journal of Production Research*, 53(1):279–290, 2015.
- Martin Christopher. *Logistics & supply chain management*. Pearson UK, 2016. ISBN 9780273731122.
- Ewelina Cholodowicz y P. Orłowski. A periodic inventory control system with adaptive reference stock level for long supply delay. *Measurement Automation Monitoring*, 61(12):568–572, 2015.
- Hassan Rashidi y Edward Tsang. Novel constraints satisfaction models for optimization problems in container terminals. *Applied Mathematical Modelling*, 37(6):3601–3634, 2013.

Optimización en la asignación de aeronaves para rutas aéreas comerciales

Luis D. Priego,^{1*} y Miguel Mata¹

¹Posgrado en Logística y Cadena de Suministro, Universidad Autónoma de Nuevo León,
San Nicolas de los Garza, Nuevo León.

* Correo electrónico: priegoeld@gmail.com

Resumen

Los costos de operar una aerolínea tradicional son muy elevados, dentro de los gastos que generan un mayor impacto y que representan aproximadamente más de la mitad de estos costos son los relacionados al combustible, a la coordinación de las tripulaciones, a la asistencia en tierra, etc., los cuales están ligados a la operación de la flota. A su vez, la operación depende de la manera en que se lleva a cabo la asignación de estos recursos para realizar las tareas previstas, es decir, al proceso donde se determina qué aeronave va a cubrir cada ruta programada en el itinerario.

El problema de la asignación de la flota es uno de los problemas más difíciles y más complejos que se enfrentan las aerolíneas en su etapa de planificación de itinerarios, porque se tienen que tomar en cuenta muchos factores. La cantidad de combinaciones posibles aumenta entre más rutas y cantidad de flota se tengan, es decir, las múltiples combinaciones incrementan el grado de dificultad para realizar un plan de vuelo. Dado que diferentes asignaciones generarán diferentes costos, asignar efectivamente los tipos de flota a las rutas de vuelo es crucial en la planificación de una aerolínea. El objetivo de la asignación de flota es asignar tantas rutas de vuelo como sea posible en un cronograma a los distintos tipos de flotas, al mismo tiempo que se optimiza una función objetivo y se cumplen varias restricciones operacionales.

La problemática que se tiene, es que las aerolíneas por lo regular se enfocan en la generación de los itinerarios de vuelo, pero operacionalmente, cuando llega el momento en que se tiene que efectuar dicho cronograma, rara vez la planeación llega al grado de decidir cuál es la mejor asignación que garantiza el menor costo operativo.

Abara (1989) abordó por primera vez esta problemática desde el punto de vista matemático y puramente computacional proponiendo un modelo de programación lineal entera para el proceso de asignación de flotas. Posteriormente Hane et al. (1995) plantearon un modelo de asignación basándose en el modelo de Abara, pero enfocándose en la reducción de costos. Más tarde, Ozdemir et al. (2012) aplicaron el modelo de Abara al caso de estudio de una aerolínea Turca, Turkish Airlines, donde se enfocaron en la optimización de la asignación de flotas de manera diaria, logrando obtener el costo mínimo de asignación y minimizando el número de aeronaves que pasaban la noche en tierra en cada aeropuerto.

En este trabajo se presenta un modelo matemático de asignación de flota aplicado a una aerolínea mexicana, donde su función objetivo, a partir de un conjunto compuesto por distintos tipos de aviones buscará asignar la aeronave más adecuada a cada uno de los vuelos programados en el itinerario obteniendo el menor costo operativo. De igual forma, esta herramienta permitirá que se lleve a cabo el servicio de una manera más eficiente garantizando un mejor uso de los recursos.

Referencias

- Jeph Abara. Applying Integer Linear Programming to the Fleet Assignment Problem. *Interfaces*, 19(1):20–28, 1989.
- Christopher A. Hane, Cynthia Barnhart, Ellis L. Johnson, Roy E. Marsten, George L. Nemhauser y Gabriele Sigismondi. The fleet assignment problem: solving a large-scale integer problem. *Mathematical Programming*, 70(1):211–232, 1995.
- Yavuz Ozdemir, Huseyin Basligil y Baglan Sarsenov. A large scale integer linear programming to the daily fleet assignment problem: a case study in Turkey *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 62(1):849–853, 2012.

Un modelo de inventarios que considera las emisiones de carbono, calidad imperfecta y con faltantes planeados

Alfonso Angel Medina Santana* y Leopoldo Eduardo Cárdenas Barrón
Tecnológico de Monterrey. Escuela de Ingeniería y Ciencias
Monterrey, Nuevo León, México.

*Correo electrónico: A01670119@itesm.mx , lecarden@itesm.mx

Resumen

Actualmente, las organizaciones están cada vez más conscientes de ser responsables del medio ambiente (Stindt, 2017); por esta razón implementan acciones encaminadas a reducir el calentamiento global y el efecto invernadero. En esta línea Battini et al. (2005) propusieron la formulación teórica y las aplicaciones de un modelo de inventarios sustentables sin considerar faltantes. Wee y Yu (2007) introdujeron un modelo de inventarios de cantidad económica a ordenar (EOQ-por sus siglas en Inglés) para artículos de calidad imperfecta y faltantes. En esta dirección, es mandatorio proponer modelos de inventarios que incluyan objetivos ambientales y económicos. Por lo tanto, este trabajo desarrolla un modelo de inventarios que integra las emisiones de carbono, calidad imperfecta y faltantes planeados. Se incluyen los tradicionales costos del modelo de inventarios con faltantes y se construye una función de utilidad que es maximizada. Finalmente, el modelo de inventarios propuesto es de gran relevancia y práctico para que las organizaciones que están interesadas en incluir aspectos ambientales en sus políticas tomen decisiones de inventario óptimas.

Referencias

- D. Battini, A. Persona, F. Sgarbossa. *A sustainable EOQ model: Theoretical formulation and applications*. International Journal of Production Economics. Volume 149, 145–153, 2014.
- D. Stindt. *A generic planning approach for sustainable supply chain management - How to integrate concepts and methods to address the issues of sustainability*. Journal of Cleaner Production. Volume 153, 146–163, 2017.
- H. M. Wee, J. Yu, M.C. Chen. *Optimal inventory model for items with imperfect quality and shortage backordering* Omega. Volume 35, Issue 1, 7–11, 2007.

Generador de instancias para el problema de planificación de la red de distribución eléctrica

Eduardo Valdés^{1*}, Rodrigo Palacios² y Oscar Villanueva³

¹Posgrado en Ingeniería de Sistemas, Universidad Autónoma de Nuevo León,
San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

²Laboratorio Binacional para la gestión inteligente de la sustentabilidad energética
y la formación tecnológica, Tecnológico de Monterrey, Xochitepec, Morelos.

³Director de zona, IBERDROLA Distribución Eléctrica, Burgos, Castilla y León, España.

* Correo electrónico: eduardo.valdesga@uanl.edu.mx

Resumen

El problema de planificación de la red de distribución (DSO, por sus siglas en inglés) (Georgilakis y Hatzigryriou, 2015) consiste en decidir cuándo, dónde, y de qué capacidad, se van a instalar nuevas líneas y subestaciones para satisfacer la demanda energética de centros de transformación distribuidos geográficamente, generalmente minimizando el costo de instalación, las pérdidas de energía, las fallas del sistema, etcétera. La complejidad y magnitud del problema hace atractivo el uso de metaheurísticas para su solución. Pero la falta de información de gran parte de las características de las redes de distribución, tanto de las instalaciones actuales como de las planificadas a futuro, dificulta la evaluación de la calidad de los métodos de solución propuestos.

El aporte de esta investigación es proporcionar un generador de instancias para problema DSO, basado en información y características de la red de distribución de la empresa Iberdrola en España. Esta red representa el 40 % del territorio del país con más de 100,000 centros de transformación suministrados. Se proponen instancias que imitan la distribución de las cargas de los centros de transformación, el nivel de instalación/planificación de la red y la densidad del grafo de las líneas de distribución sobre secciones de la red agrupadas de acuerdo a algunas tipologías identificadas: zona rural, urbana, etcétera. Además, la mayoría de los parámetros del generador pueden manipularse en una versión avanzada para obtener instancias artificiales útiles también para probar la eficacia de algoritmos de solución.

El generador cuenta con una interfaz amigable para el usuario y visualizaciones de las instancias generadas (véase como ejemplo la Figura 1). Además, se agrega la opción de generar la red sobre una región geográfica especificada, permitiendo representar la red de modo más realista.

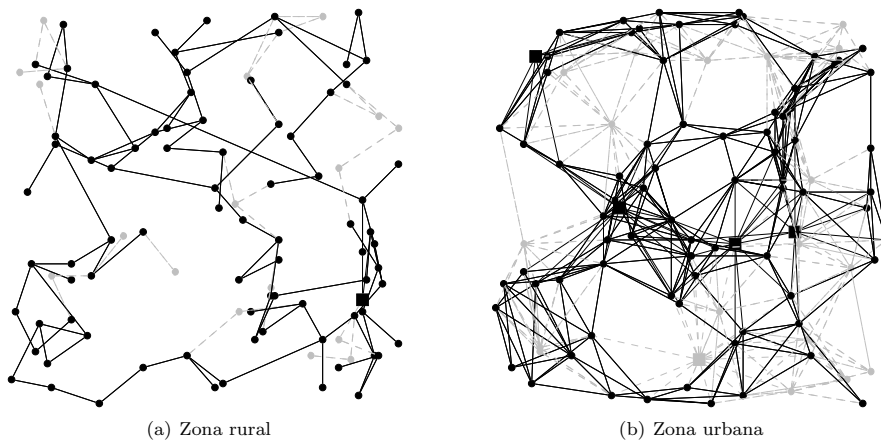


Figura 1: Ejemplo de instancias generadas. El color negro representa la red actualmente instalada mientras el color gris, la red planificada; los círculos son centros de transformación y los cuadrados subestaciones.

Referencias

Pavlos S, Georgilakis y Nikos D, Hatzigryriou. A review of power distribution planning in the modern power systems era: Models, methods and future research. *Electric Power Systems Research*, 121:89–100, 2015.

A relinked variable neighborhood search for the bi-objective traveling purchaser problem with deliveries

Pamela Jocelyn Palomo Martínez,^{1*} y María Angélica Salazar Aguilar¹

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Graduate Program in Systems Engineering.

* Correo electrónico: pamela.palomomrt@uanl.edu.mx, maria.salazaragl@uanl.edu.mx

Resumen

In this work we introduce a variant of the well-known Traveling Purchaser Problem (TPP) (Manerba et al., 2017). In the TPP there is a set of markets that offer different products. Each product can be available for sale in more than one market, but the offer and price may be different. It is assumed that the products demand and the traveling cost between each pair of markets are known. Therefore, the objective is to design a route that starts and ends at a depot and visits some markets in order to purchase the products needed to satisfy the demand, in such way that the sum of the traveling and the purchasing costs is minimized.

In the variant studied in this work, there is a set of customers which demand must be satisfied. Also, there is a stock kept in the depot, but it is not sufficient to satisfy the whole demand. Then, in order to fulfill the customers's requirements, some products have to be purchased in the markets and then delivered to the customers. In this problem, two different objectives have to be minimized simultaneously: the sum of the traveling and purchasing costs and the sum of the customers's waiting time (also known as latency). To the best of our knowledge, this variant, called the bi-objective Traveling Purchaser Problem with Deliveries (2-TPPD), has not been studied before.

We propose a mixed integer programming formulation for the 2-TPPD that is used to find non-dominated solutions by means of an epsilon-constraint based algorithm. Nevertheless, we were not able to solve instances with more than 10 nodes (depot, markets, and customers) in less than 20 hrs of computation time. Therefore, we propose a Relinked Variable Neighborhood Search (RVNS) to approximate the Pareto fronts of larger instances.

RVNS is based on the initial phase of the Scatter Tabu Search Procedure for Non-Linear Multiobjective Optimization proposed by Molina et al. (2007) and the Variable Neighborhood Search (Hansen and Mladenović., 2014). Given a feasible solution X_0 , RVNS operates as follows: a VNS is applied to minimize the total cost starting from X_0 and the resulting solution X_1 is used to start another VNS scheme which tries to minimize the latency value, let X_2 be the best found solution so far. Then, the cycle is completed by applying a third VNS that minimizes the total cost starting from X_2 . During this process, all potential non-dominated solutions are saved. Finally, the resulting set of potential non-dominated solutions is the Pareto set approximation.

We tested our algorithm over a large set of instances of the 2-TPPD with up to 200 nodes and 200 products. We used several performance metrics from the literature to assess the efficiency of our method, such as number of points of the Pareto front approximation, k-distance, hypervolume, and two set coverage. Computational results show our algorithm is highly competitive compared to the epsilon-constraint method for small instances. Also, for large instances, we conclude that the election of the initial solution X_0 and the variation of the characteristics of the instances affect the performance of RVNS.

Referencias

- D. Manerba and R. Mansini and J. Riera Ledesma. The Traveling Purchaser Problem and its variants. *European Journal of Operational Research*, 259(1):1–18, 2017.
- J. Molina and M. Laguna and R. Martí and R. Caballero. SSPMO: A Scatter Tabu Search Procedure for Non-Linear Multiobjective Optimization. *INFORMS Journal on Computing*, 19(1):91–100, 2007.
- P. Hansen and N. Mladenović. Variable Neighborhood Search. En E. K. Burke and G. Kendall. *Search Methodologies: Introductory Tutorials in Optimization and Decision Support Techniques*. Springer US, 2014.

31

Cosecha sostenible de un bosque homogéneo empleando programación dinámica con modelos de crecimiento forestal

Mario C. López Lóces^{1*}, Roger Z. Ríos Mercado¹, Oscar A. Aguirre Calderón² y José Luis González Velarde³

¹Programa de Posgrado en Ingeniería de Sistemas, Universidad Autónoma de Nuevo León.

²Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León.

³Tecnológico de Monterrey, Escuela de Ingeniería y Ciencias.

* Correo electrónico: mariocesar@lopezloc.es

Resumen

De acuerdo con la FAO (2016), México fue el undécimo país con mayores reservas forestales del mundo. Por ello es importante desarrollar métodos sustentables que permitan la extracción de recursos maderables, pero que al mismo tiempo logren mantener el equilibrio en el ecosistema para evitar su desaparición. En este artículo proponemos el uso de un algoritmo de programación dinámica basado en el modelo propuesto por Meneses y Olivares (1986) para optimizar la cosecha de un rodal durante un periodo de planeación, con el objetivo de maximizar el volumen de madera obtenido al final de este. El periodo de planeación se divide en varias etapas de raleo en las que se cosecha una parte del rodal. Cada etapa de raleo esta separada por un periodo de tiempo de la misma duración, y la suma de estos constituye el periodo de planeación. Para simular el crecimiento de los árboles entre etapas de raleo, se adaptaron y modificaron las librerías del software libre ForestSimulator BWIN Pro 7 (<https://www.nw-fva.de>), lo que permitió simular, además del crecimiento individual de los árboles de un rodal, las interacciones de competencia entre ellos, la mortalidad y la reincorporación de nuevos árboles en el rodal. La cantidad a cosechar en cada etapa de raleo está dada por un conjunto finito de opciones de corte, las cuales indican el porcentaje del área basal del rodal a talar. Este problema está sujeto a las reglas de conservación impuestas por instituciones gubernamentales para garantizar la supervivencia del bosque y permitir su regeneración natural, que en este caso se establecen en un mínimo de 350 árboles por hectárea, con un área basal de $15 \text{ m}^2/\text{ha}$ y una altura dominante de 15m . Las características del rodal inicial utilizadas por el algoritmo de programación dinámica fueron las siguientes: ≈ 550 árboles, con un área basal de $16\text{m}^2/\text{ha}$ y una altura dominante de 30m . La edad media de los árboles en el rodal se estableció en 25 años. El conjunto de opciones de corte fue de 0 % a 50 % en incrementos de 5 %. El atributo con el cual se seleccionaron los árboles a cosechar por cada etapa de corte fue su diámetro, eligiendo primero a los de mayor grosor. La especie elegida para ser simulada con el algoritmo de programación dinámica fue *Pinus Silvestris* ya que cuenta con un patrón de crecimiento similar a la de algunas especies endémicas de México. Para la experimentación se consideraron tres periodos de planeación de 12, 24 y 48 años, cada uno de ellos divididos en 2 y 6 etapas de raleo. En esta charla se presenta una evaluación empírica del método de solución bajo diferentes condiciones de planificación, y un análisis de sensibilidad respecto a varios de los parámetros algorítmicos. Los resultados obtenidos muestran que un mayor número de etapas de raleo con valores conservadores de opción de corte son capaces de obtener al final del periodo de planeación un volumen hasta cinco veces mayor que con menos etapas de raleo y valores mayores de porcentaje de corte.

Referencias

- Food and Agriculture Organization. *State of the World's Forests 2016. Forests and agriculture: land-use challenges and opportunities*. Rome, 2016. ISBN 978-92-5-109208-8.
- Meneses, M. y Olivares, B. Estrategia óptima de corta de nivel de rodal en plantaciones de *Pinus Radiata* Bosque (Valdivia). Volume 7, Issue 1, 3-8, 1986.

32

Problema de localización de instalaciones en respuesta a situaciones de emergencia considerando indicadores de accesibilidad

Beatriz Alejandra Jiménez López^{1*}, Edith Lucero Ozuna Espinosa² y Omar Jorge Ibarra-Rojas³

¹ Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León.

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

³ Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Universidad Autónoma de Nuevo León.

* Correo electrónico: alee.jmz@hotmail.com

Resumen

En las operaciones de emergencia, la logística es de vital importancia, ya que se requiere para organizar e implementar las acciones de respuesta para que sean rápidas, ágiles y efectivas. Se requiere de un sistema logístico para llevar a cabo de manera eficiente la movilización del personal, del equipo y del material que se requiere al para que las organizaciones que brindan asistencia realicen su trabajo, además también se requiere para planear las actividades de evacuación de heridos y reubicación de poblaciones afectadas por el desastre (OMS, 2000). Según Stephenson (1993) la cadena logística de los suministros de emergencias tiene la tarea principal de: “entregar las provisiones apropiadas, en buenas condiciones y en las cantidades solicitadas, en los lugares y en el momento en que son requeridas”.

Tufekci y Wallace (1998) clasifican las respuestas de emergencia en dos etapas: la respuesta previa y posterior al evento. La etapa previa al evento hace referencia a la predicción y análisis de los peligros potenciales, así como los planes de acción de mitigación. Mientras que la etapa posterior al evento hace referencia a ubicar, asignar, coordinar y administrar los recursos con los que se cuentan. Según estos autores para que un plan de respuesta de emergencia sea eficaz deberá integrar estas etapas en su objetivo.

Generalmente, la logística humanitaria clasifica las respuestas de emergencia en cuatro fases programáticas: mitigación, preparación, respuesta y recuperación. La mitigación se refiere a las medidas que evitan el inicio de un desastre o que reducen el impacto que tendrán si ocurren. La preparación son las actividades para preparar a la comunidad para saber que hacer cuando ocurre un desastre. La respuesta es el empleo de recursos y procedimientos para la preservación de la vida, la propiedad, el medio ambiente y la estructura social, económica y política de la comunidad. La recuperación se refiere a las acciones a largo plazo para lograr estabilizar la comunidad y regresar a la normalidad después del desastre.

El problema de localización de instalaciones considera un conjunto de instalaciones que deben ser ubicadas para satisfacer la demanda de los clientes optimizando una función de costos. Cooper (1963) presenta el problema de localización con el objetivo de decidir dónde ubicar las instalaciones de ayuda para dar respuesta en caso de emergencias. La localización tanto de albergues como de depósitos debe realizarse en la etapa post-desastre, ya que normalmente estos desastres destruyen parcial o totalmente la infraestructura. (IFRC, 2010) Algunos estudios asumen que la demanda de las zonas afectadas ante una situación de emergencia generalmente no puede ser completamente satisfecha por las instalaciones de ayuda abiertas, por lo que los habitantes de las zonas no abastecidas deben viajar hacia las zonas que puedan brindarles ayuda.

Según Ibarra-Rojas et al. (2017) ante estas situaciones no es suficiente considerar sólo el total de demanda cubierta por las instalaciones abiertas o la distancia de las zonas afectadas hacia las mismas, por lo que se presenta una medida de accesibilidad basada en seis indicadores: el número de zonas con acceso a las oportunidades con la movilidad delimitada, el número de zonas cubiertas, el costo del viaje, la distancia hacia la oportunidad más cercana, el número de oportunidades, y la segregación geográfica.

En este trabajo se presenta una formulación matemática para el problema de ubicación de instalaciones considerando la oferta disponible en cada instalación abierta y las demandas a cubrir de las zonas afectadas, optimizando una medida de accesibilidad basada en la medida mencionada anteriormente.

Referencias

- L. Cooper. Location-allocation problems. *Operational Research*, 11, 331-334. 1963
- Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna. Mundial sobre desastres. ISBN: 978-92-9139-158-5
- O. Ibarra-Rojas, L. Hernández y L. Ozuna. The Accessibility Vehicle Routing Problem. *Journal of Cleaner Production*, 172(2018): 1514–1528, 2017.
- Organización Mundial de la Salud. Manual para el manejo logístico de suministros humanitarios. 2000.
- R. S. Stephenson. Logística. Wisconsin: DHA, 1993.

33

Heurísticas para resolver un problema de la mochila sobre un bin rectangular

Carlos Alegría Galicia^{1*}, Julia A. Bennell², Marta Cabo Nodar¹, Antonio Martínez Sykora²

¹Departamento de Matemáticas, ITAM, México.

²Southampton Business School, University of Southampton, UK

* Correo electrónico: carlos.alegria.galicia@itam.mx

Resumen

El problema de la mochila en un bin rectangular consiste en escoger y empaquetar ciertos rectángulos pequeños dentro de uno más grande de modo que el beneficio obtenido al colocar las piezas sea máximo. En la literatura, y siguiendo la tipología de Wäscher et al. (2007), a este problema se le denomina 2-Dimensional Single Knapsack Problem (2D-SKP). Este problema tiene importantes aplicaciones en diferentes industrias: desde las clásicas industrias del vidrio o el acero donde es necesario cortar enormes placas de material en placas más pequeñas para su venta como materia prima en otras industrias; pasando por la ubicación de noticias, anuncios y otras secciones en cada una de las páginas de revistas y periódicos, hasta la colocación de circuitos en tarjetas electrónicas para optimizar el rendimiento de los componentes finales.

Dadas sus múltiples aplicaciones, el problema ha sido ampliamente estudiado. Nuestro artículo, presenta resultados competitivos y los comparamos con los existentes en la literatura. Para ello hemos diseñado una heurística basada en un árbol de búsqueda con podas drásticas, que nos lleve a la mejor solución. Esta heurística, conocida como Beam Search, es de sencilla aplicación y permite al usuario un control pleno de los parámetros que mejor se ajustan a cada ocasión.

Existen dos acciones importantes dentro del árbol de búsqueda: la primera la creación de nodos, y la segunda la poda de ramas. Para cada una de estas acciones se requieren heurísticas eficientes. En nuestro caso, para la creación de nodos, hemos creado una heurística constructiva que coloca una por una las piezas en el bin basándonos en las ideas de Alvarez-Valdes et al. (2005) con importantes modificaciones. En cada nodo, el usuario controla qué pieza se va a colocar, y la heurística debe determinar la mejor posición para ella. Una función de evaluación local determinará qué nodos sobreviven y cuáles son descartados. Para decidir qué rama se poda, es necesario observar el comportamiento a futuro de esa rama, y para ello hemos implementado una versión de la heurística best-fit introducida por Burke et al. (2004). Esta heurística está diseñada para el problema de strip-packing, donde el contenedor es una tira rectangular de largo infinito, y el objetivo es colocar todas las piezas minimizando la altura. Nosotros tenemos un bin rectangular de dimensiones fijas, y nuestro objetivo es escoger las piezas que ofrezcan mayor beneficio y colocarlas dentro del bin. Además de las modificaciones pertinentes hechas al algoritmo, se ha utilizado una implementación basada en las ideas de Imahori and Yagiura (2010), donde se presenta una implementación eficiente para la versión original de best-fit. Las ramas que ofrezcan un mejor beneficio serán las elegidas para permanecer en el árbol, mientras que el resto se podan.

En esta charla se explicarán brevemente todas estas heurísticas, y se presentarán resultados preliminares para este problema comparándolos con los existentes en la literatura.

Referencias

- G. Wäscher and H. Haußner and H. Schumann. *An improved typology of cutting and packing problems* European Journal of Operational Research, 183, 1109 – 1130, 2007
- E. K. Burke and G. Kendall and G. Whitwell. *A New Placement Heuristic for the Orthogonal Stock-Cutting Problem* Operations Research, 52 (4), 655 – 671, 2004
- S. Imahori and M. Yagiura. *The best-fit heuristic for the rectangular strip packing problem: An efficient implementation and the worst-case approximation ratio* Computers & Operations Research, 37 (2), 325 – 333, 2010
- R. Alvarez-Valdes, F. Parreño and J. M. Tamarit, J M. *A GRASP algorithm for constrained two-dimensional non-guillotine cutting problems* Journal of the Operational Research Society, 56 (4), 414 – 425, 2005

34

Mathematical model to evaluate impacting factors in Sales and Operations Planning (S&OP)

Juan A. Cedillo Robles* y Neale R. Smith Cornejo
Tecnológico de Monterrey. Escuela de Ingeniería y Ciencias

*Correo electrónico: A00997352@itesm.mx

Abstract

Sales and Operations Planning (S&OP) is a powerful tool that helps companies to get demand and supply in balance and to keep this equilibrium over time. Future research in S&OP focuses on the ability of companies to respond to demand uncertainty, as well as to deal with the constant conflict in their meetings regarding deciding who faces this issue (manufacturing or operations). This paper proposes a mathematical model to evaluate the quantitative relation between demand forecast error and flexible capacity of a production system, also evaluating their impact on plan performance. In order to prove its usefulness, the model was applied to a make-to-order system whose demand for its products shows trend and seasonality. The results of preliminary tests have shown by now a significant influence of the forecast error on flexibility factors such as lead time and set-up time, so it is suggested to establish a maximum limit of the level of these elements based on the error of the forecast.

35

Asignación de horarios en instituciones universitarias

Lilia Barrón,^{1*} y Lucero Ozuna²

^{1*}Universidad autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

²Universidad autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

* Correo electrónico: lilibarron.lm3@gmail.com ² Correo electrónico: luceroozuna@gmail.com

Resumen

La planeación de actividades es de vital importancia en todas las empresas e instituciones del sector público o privado las cuales buscan administrar el uso eficiente de sus recursos para lograr satisfacer sus necesidades, por lo que se enfrentan diariamente a una múltiple toma de decisiones en torno a factores tales como el uso óptimo de sus recursos físicos, procesos de distribución y producción, entre otras cosas.

Para este tipo de empresas e instituciones, es muy importante hacer el mejor uso de los recursos tanto físicos como humanos con los que se dispone para lograr brindar servicios de alta calidad al menor costo posible.

Las instituciones educativas, al ser una institución que brinda un servicio, no está exenta a esta toma de decisiones, debido a que este tipo de instituciones busca administrar eficientemente el uso de recurso humano e infraestructura, a fin de lograr satisfacer sus necesidades y requerimientos. Esta problemática se conoce en la literatura como problema de asignación de horarios, el cual radica en la asignación del personal a sus diversas áreas de trabajo en un periodo de tiempo determinado.

Específicamente en el caso de las instituciones educativa surge el problema de asignación de horarios escolares, que consiste en la correcta distribución de docentes, aulas y grupos en un periodo de tiempo determinado satisfaciendo una cierta cantidad de restricciones.

En la actualidad, esta distribución se realiza de forma manual en muchas instituciones, debido a esto, el personal administrativo encargado de esta tarea se ve obligado a resolver esta problemática destinando mucho tiempo y esfuerzo, sin embargo, este tipo de metodología deja de lado ciertas restricciones importantes, como, por ejemplo, el estudio de los ritmos cognitivos o incluso la disponibilidad horaria que tienen los docentes.

Al ser un trabajo exhaustivo y que requiere de mucho tiempo, el personal experto reproduce la asignación que mejor les funcionó simplemente haciendo unos cuantos cambios, lo que en algunas ocasiones se traduce en insatisfacción de todas las partes involucradas.

Surgiendo de la necesidad de resolver este tipo de problemática, se ha hecho uso de algunas herramientas matemáticas las cuales se han aplicado de manera muy eficaz en la optimización del uso de los recursos humanos, particularmente en empresas e instituciones que prestan algún servicio, donde el recurso humano constituye el factor más importante a organizar y el costo más relevante como el caso de las instituciones educativas.

Por esta razón, en este trabajo se tiene como principal objetivo el proponer una herramienta de toma de decisiones para el problema de asignación de horarios universitarios mediante el uso de una herramienta matemática que defina la asignación de docentes, aulas y grupos de forma eficiente el cual que considere no solo la satisfacción de docentes y estudiantes sino también cómo el desempeño escolar se ve afectado por los ritmos cognitivos, mejorando la calidad del servicio ofrecido a beneficio de los estudiantes.

Esto se logrará considerando en la función objetivo la minimización de las penalidades establecidas por cada unidad de aprendizaje que no sea asignada a su hora ideal, además de la minimización de los traslados entre sedes y las horas muertas para cada uno de los docentes, buscando que el horario resultante sea lo mas compacto posible.

Se analizan los resultados obtenidos para un caso de estudio de una institución pública del estado de Nuevo León la cual cuenta con 3 diferentes tipos de docentes, 2 sedes destinadas para la impartición de clases y 3 tipos de aulas en las que se puede realizar la asignación.

Referencias

- Lucia Esquivel. *Modelo matemático para la programación de un horario escolar con multi-localización de docentes*. Universidad del Valle, 2014.
- Adriana Canseco, Diana Sánchez, Catya Zuñiga, Elias Olivares .Application of linear programming for the timetabling model in technical education institution in México *Revista Ingeniería industria*, 15(2):135-146, 2016. ISSN-e 0718-8307
- Omar D. Castrillón, Victor F. Suarez, Álvaro Guerrer Class schedule assignment based on students learning rhythms using a genetic algorithm *Revista Ingeniería y ciencia*, 9(17):77-95, 2013. ISSN-e: 2256-4314.

Maximal covering location problem for the design of a reverse logistics network

Ximena D. Medrano,^{1*} y Omar J. Ibarra-Rojas²

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

²Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas.

* Correo electrónico: ximena.medranogm@uanl.edu.mx * Correo electrónico: omar.ibarrarj@uanl.edu.mx

Abstract

Generally, the developing countries are characterized to have an immature organization and planning of the public waste collection service. It is manifested in the lack of knowledge about the amount and type of solid waste collected, the quantity of products recovered and recycled, as well as the incorrect choice of the waste disposal sites (e, u). As it is stated by u (r), Mexico like a developing country, with clear absence of recycling industry, has the task to improve the current structure and activities to face the environmental challenges, besides to create a concern of the waste management. The change address to the control of the prevention, as well as the growing acknowledgment of the complexity and international kind of environmental issues create an open call for the development synergy between operational research and environmental management (o, l). As a result of the relation among these elements, our study is taking a perspective of reverse logistics, environmental management and the opportunities that the operational research brings.

This study implements a sustainable network handled through Reverse Logistics and modelled by means of a maximal covering location problem. The main objective of MCLP is referred by r (e) as the establishment of a set of m facilities as well as to maximize the total weight of covered customers, where the customer is regard covered only if she/he is settled at the most certain specified distance r away from the nearest facility. In this context, our MCLP is considering a set of potential places to locate collection points and a set of waste generators points, the optimization problem determines the number and location of collection points, limited to an investment budget and a collection capacity by point. The objective is maximize the quantity of wastes collected.

We implement a commercial solver in order to find feasible solutions for randomly generated instances of the Problem. Table shows numerical results where columns 1 – 5 corresponding to the different instances sizes and the columns 6 – 8 belong to the obtained results. Notice that we are able to solve instances up to 60 generation points and 200 locations.

Table 1: GAMS results of preliminary analysis

INSTANCES					Results		
<i>Collection depots</i>	<i>waste generators</i>	<i>recycling plants</i>	<i>budget</i>	<i>profit</i>	<i>Gap</i>	<i>execution time</i>	<i>objective function</i>
5	15	3	500	5	0	0.002 seconds	59
15	40	5	1500	5	0	0.011 seconds	249
30	100	15	3500	5	0	0.155 seconds	1613
60	200	30	6000	5	0	1.030 seconds	3149

Based on the above, we define an extension considering capacity for recycling plants.

References

- J. Bloemhof, P. Van, L. Hordijk and L. Van. Interactions between operational research and environmental management. *European Journal of Operational Research*, 85:229–243, 1995.
- Otoniel. Buenrostro and Gerardo Bocco. Solid waste management in municipalities in Mexico: goals and perspectives. *Resources, Conservation & Recycling*, 39:251–263, 2003.
- Reynaldo Cruz and Jürgen Ertel. Reverse logistics network design for the collection of End of Life Vehicles in Mexico. *European Journal of Operational Research*, 196:930–939, 2009.
- Oded Berman and Dmitry Krass. The generalized maximal covering location problem. *Computers and Operations Research*, 29: 563–581, 2002.

37

Problema de asignación de tiempos en la organización de una línea de ensamblaje

Mayra Alejandra Luna Peña,^{1*} Francisco Ángel-Bello Acosta¹ y Dra. Ada Álvarez²

¹Posgrado en Ingeniería de Sistemas, Universidad Autónoma de Nuevo León,
San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

²Tecnológico de Monterrey, Monterrey, Nuevo León.

* Correo electrónico: A00821676@itesm.mx

Resumen

El problema de rutas de vehículos clásico consiste en diseñar las rutas que deben seguir un conjunto de vehículos de capacidad conocida de forma tal que se satisfagan las demandas de un conjunto de clientes dispersos en un área geográfica determinada y que se obtenga el menor costo total para el recorrido de los vehículos. A diferencia del problema donde toda la información es conocida con antelación, nosotros en este trabajo estudiamos una variante dinámica y objetivo de minimizar la suma de los tiempos de espera de los clientes para recibir el servicio (objetivo centrado en el cliente).

En los problemas dinámicos no toda la información es conocida al inicio del período de planeación por lo que debe ser actualizada a lo largo del día. En nuestro caso de estudio consideramos como fuente de variación la llegada de las solicitudes de servicio de los clientes a lo largo del periodo de planeación.

Para dar solución a los problemas dinámicos de ruteo de vehículos se distinguen dos enfoques de solución en la literatura, uno basado en re-optimización periódica y otro basado en re-optimización continua. En ambos casos, al inicio del horizonte de planeación, se genera una solución inicial que contiene al conjunto de todos los clientes estáticos.

En la re-optimización periódica el horizonte de planeación es dividido en periodos de igual duración y en cada período se deben agregar los clientes que llegaron en el período anterior y re-optimizar la solución. En la re-optimización continua cada vez que llegan una o varias solicitudes al sistema, se busca asignar dichas solicitudes a las rutas actuales mediante algún algoritmo de inserción de clientes.

Para dar solución a nuestro problema analizamos los dos enfoques de solución y diseñamos e implementamos algoritmos metaheurístico basados en Búsquedas por Vecindades Variables (VNS por sus siglas en inglés). El desempeño de los algoritmos diseñados fue evaluado utilizando instancias adaptadas de la literatura y se presenta una amplia experimentación computacional.

39

Re-programación de recursos en transporte urbano

Alejandro Andrade Michel^{1*}, Yasmín Ríos Solís y Vincent Boyer
Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

* Correo electrónico: alejandroampm@hotmail.com

Resumen

La optimización del transporte urbano es uno de los primeros temas que históricamente fueron abordados por la investigación de operaciones y actualmente es uno de los más prolíficos en la optimización combinatoria, la inteligencia artificial, el Big Data y la estadística.

Dado que ya hay muchos modelos matemáticos para el transporte urbano, lo primero que viene a la mente es implementar en México los modelos que usan los países de primer mundo. Sin embargo, en reiteradas ocasiones hemos visto que la tropicalización de dichos modelos fracasa rotundamente puesto que existen diferencias que hacen que se requieran nuevos modelos y metodologías que se adapten a las muy particulares características de nuestro país.

Por ejemplo, el ausentismo de los conductores, los accidentes que tengan éstos durante el trabajo, la educación vial entre otras, generan la necesidad de modificar la asignación de los conductores a sus horarios y vehículos.

Este es el tema de investigación de este doctorado, para resolver este problema se busca un “re-scheduling” cuyo objetivo es hacer el mínimo número de cambios en las asignaciones para cubrir el máximo número de viajes con el mínimo costo posible. El objetivo es brindar un servicio de alta calidad aún cuando las asignaciones planeadas tengan que ser modificadas diariamente.

Algoritmo metaheurístico híbrido para un problema de secuenciación de máquinas en paralelo con tiempos de preparación dependientes de la secuencia

Sarahí Báez,¹ Francisco Angel-Bello¹, Ada Alvarez² y Belén Melián-Batista³

¹Tecnológico de Monterrey

a00818433@itesm.mx, fangel@itesm.mx

²Universidad Autónoma de Nuevo León

ada.alvarezs@uanl.mx

³Universidad de La Laguna

mbmelian@ull.edu.es

Resumen

Este trabajo propone un algoritmo metaheurístico híbrido GRASP-VNS para el problema de secuenciación de máquinas en paralelo con tiempos de preparación dependientes de la secuencia con el objetivo de minimizar el tiempo total de terminación de los trabajos (Total Completion Time, TCT).

Este problema consiste en secuenciar n trabajos independientes entre sí en m máquinas, de tal manera que se minimice la suma de los tiempos de terminación de todas las tareas (TCT). Considerando el tiempo de procesamiento p_j de cada trabajo y los tiempos de preparación s_{ij} de la máquina para realizar el trabajo j justo después de haber realizado el trabajo i .

Algunos de los supuestos considerados son: todas las máquinas deben de utilizarse, cada máquina puede procesar un trabajo a la vez, existe un tiempo de preparación s_{0j} para procesar el primer trabajo secuenciado en cada máquina, la matriz de tiempos de preparación es no simétrica ($s_{ij} \neq s_{ji}$), entre otros.

En Allahverdi, A. (2015) se observa que pocos son los trabajos que consideran tiempos de preparación en las máquinas dependientes de la secuencia y el TCT. Sin embargo algunos trabajos relacionados con nuestro problema son: Vallada y Ruiz (2011), quienes abordaron el problema de máquinas en paralelo no relacionadas con tiempos de preparación dependientes de la secuencia pero con el objetivo de minimizar el makespan y Nessah et al. (2005), quienes utilizaron como función objetivo el TCT.

El procedimiento metaheurístico híbrido combina un algoritmo GRASP (Feo y Resende (1995)) con una variación de la metaheurística VNS (Mladenović y Hansen (1997)), compuesto por la etapa de construcción y la etapa de mejora.

En la fase de construcción, se utiliza una lista restringida de candidatos para seleccionar aleatoriamente un trabajo en cada iteración de la construcción e insertarlo en la máquina donde genere el menor incremento del TCT.

En la etapa de mejora se implementó un algoritmo de búsqueda por entornos variables general (GVNS, por sus siglas en inglés). El procedimiento de agitación consiste en destruir un porcentaje aleatorio de la solución actual y reconstruirla reinsertando cada trabajo en su mejor posición. En el procedimiento de búsqueda local los movimientos utilizados son inserción e intercambio dentro de una misma máquina y entre máquinas. De varias pruebas realizadas para definir el orden de los movimientos concluimos que la selección aleatoria de los movimientos permite obtener mejores soluciones.

Las instancias utilizadas para probar nuestro algoritmo fueron tomadas de la literatura y los resultados se compararon con soluciones exactas obtenidas con un modelo matemático y con las soluciones obtenidas de la literatura de hasta 60 trabajos y 8 máquinas. Con estas comparaciones probamos que el algoritmo híbrido supera los resultados encontrados en la literatura hasta el momento.

Referencias

- Allahverdi, A. *The third comprehensive survey on scheduling problems with setup times/costs..* European Journal of Operational Research, 2015. 246(2), 345-378.
- Nessah, R., Chu, C., & Yalaoui, F. An exact method for $Pmsds/r_i/\sum C_i$ problem. *Computers & operations research*, 2005 34(9), 2840-2848.
- Vallada, E., & Ruiz, R. A genetic algorithm for the unrelated parallel machine scheduling problem with sequence dependent setup times. *European Journal of Operational Research*, 2007 211(3), 612-622..
- Feo, T. A., & Resende, M. G. A theoretically correct mixing rule for cubic equations of state. *Journal of global optimization*, 38(5): 671-680, 1995. 6(2), 109-133.
- Mladenović, N., & Hansen, P. Variable neighborhood search. *Computers & operations research*, 1997. 24(11), 1097-1100.

Modelo de zonificación funcional para la gestión forestal: caso de estudio San Pedro El Alto, Oaxaca

Elizabeth Serrano-Ramírez,^{1*} J. René Valdez-Lazalde¹
Héctor Manuel De los Santos-Posadas¹ Roman Anselmo Mora Gutiérrez²

Gregorio Ángeles Pérez¹

¹Posgrado de Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México.

²Dpto. de Sistemas, Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, Ciudad de México.

* Correo electrónico: serrano.elizabeth@colpos.mx

Resumen

La planificación para el uso y aprovechamiento de los bosques requiere de enfoques capaces de especificar dónde, cuándo y cuánto se debe cosechar dada una masa forestal y un horizonte de planeación predefinido, además se busca una disposición eficiente de las actividades silvícolas, tal que se satisfaga el conjunto de demandas de madera y a su vez se garantice la conservación de la biodiversidad (Galicia et al., 2015). La incorporación de “nuevos” conceptos como sostenibilidad o aprovechamiento sostenible ha generado creciente interés en el desarrollo de nuevas técnicas que permitan conciliar la actividad forestal con las necesidades económicas, ecológicas y sociales de la población. Por ende, el presente trabajo propone un modelo de optimización entero mixto, que permite compaginar la producción de madera con múltiples consideraciones operativas y de conservación bajo el enfoque de zonificación TRIAD, el cual divide el territorio forestal en tres tipos de zonas: de conservación, de manejo del ecosistema y de producción de madera; cada una designada de acuerdo a la intensidad de aprovechamiento (Messier et al., 2009).

Posteriormente, el modelo se resolvió mediante cinco técnicas heurísticas: búsqueda aleatoria, ascenso en la montaña, búsqueda en vecindades variables, recocido simulado y algoritmos genéticos. Cabe mencionar que la instancia del modelo propuesto fue contraída con los datos de la comunidad de San Pedro el Alto en el Estado de Oaxaca, empleando información relevante como: el volumen maderable disponible por hectárea (m^3/ha), el incremento en volumen maderable ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{año}$), el tipo de hábitat presente en el área forestal, el potencial de aprovechamiento y los tratamientos silvícolas recomendados a partir del Programa de Manejo Forestal Maderable período 2016-2017/2025-2026 de la comunidad. Similar a los resultados obtenidos por Quintero et al. (2010), la técnica de recocido simulado resultó ser conveniente, al maximizar el volumen maderable posible a extraer en el horizonte de planeación. De acuerdo con los resultados estadísticos se observó una respuesta eficiente al problema definido por parte de los algoritmos de búsqueda dirigida.

Referencias

- Christian Messier, Rebecca Tittler, Daniel D. Kneeshaw, Nancy Gélinas, Alain Paquette, Kati Berninger, Héloïse Rheault, Philippe Meek y Nadyre Beaulieu. TRIAD zoning in Quebec: Experiences and results after 5 years. *The forestry chronicle*, 85(6):885–896, 2009. DOI:10.1016/j.foreco.2009.10.038.
- Leopoldo Galicia, Catherine Potvin y Christian Messier. Maintaining the high diversity of pine and oak species in Mexican temperate forests: a new management approach combining functional zoning and ecosystem adaptability. *Canadian Journal of Forest Research*, 45(10):1358–1368, 2015. DOI:10.1139/cjfr-2014-0561.
- Maria A. Quintero, Mauricio Jerez y Magdiel Ablan. Métodos heurísticos en la planificación del manejo forestal: un ejemplo de aplicación. *Revista Forestal Venezolana*, 54(2):183–194, 2010.

Diseño de una Red de Servicio con Relajación de Restricciones

Adrián Ramírez Nafarrate,^{1,2*} y Ozgür M. Araz³

¹Dpto. de Ingeniería Industrial y Operaciones, ITAM, CDMX.

²Escuela de Empresariales, Universidad Panamericana, Zapopan, Jalisco.

³College of Business Administration, University of Nebraska-Lincoln.

* Correo electrónico: adrian.ramirez@asu.edu

Resumen

Los escenarios de emergencia provocados por desastres naturales, epidemias y ataques bioterroristas requieren del despliegue de recursos para dar servicio a la población afectada dentro de un corto plazo. Los tomadores de decisiones deben planear las operaciones de respuesta a estos sucesos en muy corto tiempo y considerar la posible escasez de recursos, en particular en escenarios de gran escala.

Ramírez-Nafarrate et al. (2015) proponen un modelo basado en la p -mediana para optimizar la localización y capacidad de puntos de servicio. Este modelo incluye aproximaciones de teoría de colas para el tiempo de espera en los puntos de servicio, restricciones de capacidad a nivel local y a nivel sistema y restricciones sobre el tiempo objetivo para completar las operaciones. El objetivo de este modelo es minimizar el tiempo promedio para acceder al servicio, que incluye el traslado al sitio asignado y el tiempo de espera. Este servicio puede ser entrega de vacunas, antibióticos u otro tipo de elemento que se necesita distribuir de manera urgente entre la población. Dada la complejidad del problema, este artículo citado presenta una solución basada en un algoritmo genético que permite relajar restricciones de capacidad o de tiempo para completar operaciones.

En este documento se presenta una extensión al artículo anterior con un algoritmo que permite relajar las restricciones de capacidad y de tiempo de operaciones simultáneamente. El nuevo modelo incluye un componente de penalización en la función objetivo, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$g(\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, T_j, c_j) = \beta_1 \sum_{j \in S} T(c_j - c_j^{max})^+ + \beta_2 \sum_{j \in S} (T_j - T) \min(c_j, c_j^{max}) + \beta_3 \sum_{j \in S} (T_j - T)(c_j - c_j^{max})^+ + \beta_4 \bar{T} \left(\sum_{j \in S} c_j - C \right)^+ \quad (1)$$

En esta ecuación β_m para $m = \{1, 2, 3, 4\}$ son los parámetros de penalización que se definen como:

β_1 es la penalización por cada servidor sobre el número máximo permitido en un sitio durante el tiempo objetivo de operaciones,

β_2 es la penalización por exceder el tiempo objetivo de operaciones de cada servidor permitido en un sitio,

β_3 es la penalización por exceder el tiempo objetivo de operaciones de cada servidor sobre el número máximo permitido en un sitio,

β_4 es la penalización por exceder el número de servidores disponibles para todo el sistema.

Se utilizó el algoritmo genético multi-objetivo NSGA-II (ver Deb et al. (2002) para detalles de este algoritmo) modificado para relajar una o dos restricciones simultáneamente. El algoritmo que relaja ambas restricciones se basa en una fracción r que es la fracción de la demanda excedente que se cubre con más servidores que los permitidos. La demanda restante se satisface incrementando el tiempo de servicio del sitio. El objetivo de este algoritmo es minimizar el tiempo para obtener servicio y la penalización total.

Haciendo un diseño de experimentos factorial 2^k se concluye que (i) para un valor relativamente grande de sitios a abrir, la función de penalización favorece usar más servidores en lugar de extender el tiempo de servicio, independientemente de la diferencia en los valores de los parámetros de penalización, (ii) para pequeñas diferencias en los valores de los parámetros de penalización y con pocos sitios a abrir, la función de penalización favorece extender el tiempo de servicio en lugar de asignar más servidores y (iii) para diferencias grandes en los valores de los parámetros de penalización y con pocos sitios a abrir, la función de penalización ajusta la asignación de recursos dependiendo del valor de cada parámetro β .

Referencias

- K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, and T. Meyarivan. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(2):182–197, 2002.
- Adrian Ramirez-Nafarrate, Joshua D Lyon, John W Fowler, and Ozgur M Araz. Point-of-dispensing location and capacity optimization via a decision support system. *Production and Operations Management*, 24(8):1311–1328, 2015.

Las matrices Robinson en el cruce de optimización combinatoria, seriación arqueológica y teoría de decisiones

David Romero* y José Luis Figueroa**

Instituto de Matemáticas, Universidad Nacional Autónoma de México, Cuernavaca, Morelos.

* Correo electrónico: david.romero@im.unam.mx

** Correo electrónico: jfg77_sigma@hotmail.com

Resumen

Una matriz real, cuadrada y simétrica es *Robinson*, o *robinsoniana*, si el valor de sus entradas crece monótonamente a medida que éstas se acercan a la diagonal principal.

Con raíces en seriación arqueológica, esto es, el ordenamiento cronológico de tumbas, fósiles y cacharros —Hahsler (2017)—, las matrices Robinson y variantes han sido objeto de investigaciones diversas. Por ejemplo, las relacionadas con el problema de asignación cuadrática en el contexto de optimización combinatoria, o con agregación de preferencias en el ámbito de la teoría de decisiones, etc.

Una matriz $n \times n$ es *pre-Robinson* si existe una permutación simultánea de renglones y columnas (es decir, se aplica la misma permutación a la secuencia de renglones que a la secuencia de columnas) que la transformen en robinsoniana. ¿Cómo saber si una matriz dada es pre-Robinson? Esta ingenua pregunta se ha respondido mediante varios algoritmos polinomiales, tales como los propuestos por Romero (1978), Préa y Fortin (2014) y Seminaroti (2016), de complejidad computacional $O(n^2)$ y $O(n^2 + mn \log n)$, respectivamente (m es la cantidad de entradas distintas de cero en la matriz).

En esta plática se comentarán algunos resultados —algunos publicados, otros no— relacionados con las matrices Robinson.

Referencias

- M. Hahsler. An experimental comparison of seriation methods for one-mode two-way data. *European Journal of Operational Research*, 257:133–143, 2017.
- P. Préa y D. Fortin. An optimal algorithm to recognize Robinsonian dissimilarities. *Journal of Classification*, 31(3):351–385, 2014.
- D. Romero. *Variations sur l'effet Condorcet*. PhD thesis, Université Scientifique et Médicale de Grenoble, Francia, 1978.
- M. Seminaroti. *Combinatorial algorithms for the seriation problem*. PhD thesis, CentER, Tilburg University, Países Bajos, 2016.

Integración de cálculo de frecuencias y diseño de horarios para la sincronización de líneas de tránsito con paraderos en común.

Yadira I. Silva-Soto,^{1*} y Omar J. Ibarra-Rojas¹

¹Centro de Investigación de Ciencias Físico-Matemáticas,
Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

* Correo electrónico: yadira.silvast@uanl.edu.mx

Resumen

Los sistemas de transporte público han sido estudiados ampliamente a lo largo de décadas, el objetivo de estudio radica en mejorar la eficiencia en la movilidad de los usuarios, esto es, prestar un servicio de calidad a bajo costo. El proceso de diseño y planificación de los sistemas de transporte involucra decisiones importantes, las cuales están relacionadas con la solución de los siguientes subproblemas: diseño de la red de tránsito, cálculo de frecuencias, diseño de horarios, asignación de vehículos y de chóferes (Ceder, 2007). Estos subproblemas, cada uno de forma individual, son comúnmente complicados de resolver. El enfoque usual para obtener una solución del problema de planeación de la red de tránsito consiste en implementar metodologías secuenciales, es decir, métodos con procedimientos iterativos en los cuales se resuelven uno o varios subproblemas en cada iteración, tomando como datos de entrada la solución obtenida por los subproblemas anteriores. Aunque es posible obtener soluciones de calidad utilizando procedimientos secuenciales, esto no garantiza una solución óptima al problema de planificación global, por tal motivo la integración de subproblemas es una herramienta que puede implementarse para obtener mejores soluciones que las obtenidas usando metodologías secuenciales (Ibarra-Rojas et al., 2015).

La mayoría de los estudios que utilizan un enfoque de integración, trabajan con problemas de diseño de horarios y asignación de vehículos o asignación de vehículos y asignación de chóferes o diseño de la red y diseño de horarios (Guihaire, 2008; Ibarra-Rojas et al., 2015). Mientras que la integración del problema de frecuencias con cálculo de horarios en sistemas de transporte público ha sido muy poco estudiado y los pocos trabajos que existen están enfocados en transbordo y sistema de trenes (Schöbel, 2017). En este estudio se aborda un enfoque de integración del problema de cálculo de frecuencias con el problema de diseño de horarios para sincronizar grupos de líneas en paraderos en comunes. En particular, el problema de diseño de horarios determina los tiempos de despacho para un conjunto de viajes en cada paradero de la red de tránsito con el fin de minimizar el tiempo de espera promedio, asumiendo intervalos de factibilidad para los despachos y funciones conocidas para los tiempos de viaje que dependen del instante de despacho. Por otro lado, el problema de cálculo de frecuencias, define la cantidad de viajes por hora para cada línea asumiendo un conjunto factible de frecuencias dado. La motivación del estudio es que dado que la sincronización de líneas depende de la frecuencia y los tiempos de despacho (Ibarra-Rojas, 2016), una apropiada integración de estos dos subproblemas puede aumentar la calidad del nivel de servicio en términos del tiempo de espera, comparado con resolver los problemas de forma secuencial.

La principal aportación de este trabajo de investigación es una formulación matemática para la integración propuesta en base a variables indexadas en tiempo, lo cual permite definir una aproximación lineal del tiempo de espera promedio que comúnmente se expresa mediante funciones cuadráticas (Ceder, 2007). Además, se presentan resultados preliminares de la formulación integral, usando un solver comercial para resolver instancias pequeñas generadas aleatoriamente y propuestas de metodología de solución para resolver instancias grandes.

Referencias

- A.Ceder. *Public Transit Planning and Operation: Theory Modeling and Practice..* Elsevier, Butterworth-Heinemann
- V. Guihaire y Jin-Kao Hao. , Transit network design and scheduling: A global review. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(10):1251–1273, 2008.
- 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*, 77:38–75, 2015. ISSN 0191-2615.
- O.J. Ibarra-Rojas y J.C. Muñoz. Synchronizing different transit lines at common stops considering travel time variability along the day. *Transportmetrica A: Transport Science*, 12(8):751–769, 2016.
- A. Schöbel. An eigenmodel for iterative line planning, timetabling and vehicle scheduling in public transportation. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 74:348–365, 2017.

Integración de diseño de territorios y enrutamiento periódico para actividades de servicio

Elias Olivares-Benitez,^{1*} y Samuel Nucamendi-Guillén¹

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Panamericana, Zapopan, Jalisco.

* Correo electrónico: eolivaresb@up.edu.mx

Resumen

En algunas industrias, las actividades de servicio deben realizarse en el sitio donde se encuentran los clientes por parte de los empleados de la empresa. Ejemplos de este tipo de servicios incluyen ventas, entrega de productos, servicio técnico, mantenimiento, enfermería, lectura de medidores de energía, etc. (Arns Steiner et al., 2015; Koc , 2016; Lei et al., 2016; Silva de Assis et al., 2014). En estos problemas, una decisión de optimización es configurar los territorios o grupos de clientes a los que debe atender cada empleado o cuadrilla. Además, en muchos casos, la actividad de servicio se suele programar en un sistema de visitas periódico con itinerarios para atender a los clientes. En la práctica, estos pasos, el diseño del territorio y la secuenciación del servicio se deciden jerárquicamente. El diseño del territorio puede tener en cuenta varios criterios para optimizar, siendo los más comunes la homogeneidad en tamaño y la homogeneidad geográfica de los territorios. En el caso de la secuenciación del servicio, la decisión afecta la distancia recorrida y el tamaño de la fuerza laboral requerida. En este trabajo, proponemos un modelo matemático multiobjetivo para integrar el diseño de los territorios y la programación del servicio para obtener una configuración óptima. Se propone un método heurístico para resolver instancias grandes. El enfoque heurístico se justifica por la complejidad computacional del problema. Se resuelven dos instancias relacionadas a casos prácticos observados en consultoría. La primera es una instancia para el diseño de territorios y planes de visita para vendedores de una compañía que comercializa herramientas en ferreterías. La otra instancia corresponde al diseño de territorios y planes de visita para cuadrillas de vendedores de servicios de telefonía por cable que atienden bloques de colonias.

Referencias

- M.T. Arns Steiner, D. Datta, P.J. Steiner Neto, C.T. Scarpin, y J. Rui Figueira. Multi-objective optimization in partitioning the health care system of Parana State in Brazil. *Omega*, 52:53–64, 2015.
- C. Koc. A unified-adaptive large neighborhood search metaheuristic for periodic location-routing problems. *Transportation Research Part C*, 68:265–284, 2016.
- H. Lei, R. Wang, y G. Laporte. Solving a multi-objective dynamic stochastic districting and routing problem with a coevolutionary algorithm. *Computers & Operations Research*, 67:12–24, 2016.
- L. Silva de Assis, P.M. Franca, y F.L. Usberti. A redistricting problem applied to meter reading in power distribution networks. *Computers & Operations Research*, 41:65–75, 2014.

A disaggregation preference method for supporting new product design

Pavel Anselmo Álvarez Carrillo,^{1*} Juan Carlos Leyva López,¹ y Pavel López Parra²

¹Management and Economic Science, Universidad de Occidente, 80120 Culiacan, Sinaloa, Mexico.

²Doctoral Program of Management Science, Universidad de Occidente, 80120 Culiacan, Sinaloa, Mexico.

* Correo electrónico: pavel.alvarez@udo.mx, juan.leyva@udo.mx, pavel.lopez@udo.mx

Resumen

Recent studies have been paying a lot of attention to the analysis of consumer behavior and to the methodologies for new products design. Traditional new product design methodologies, are approached based on the utility function concerning consumer preference. We propose a new approach based on outranking relations given the flexibility to deal with intransitivity and incomparability of the consumer preference. This approach is the first step in a New Product Design Multicriteria Methodology (NPDMM).

ELECTRE III is an outranking approach that requires inter-criteria parameters to construct Fuzzy Outranking Relations. Under this method, the expert must define values of several parameters (weights, indifference, preference and veto thresholds) that in some cases are difficult to determine. Mousseau & Slowinski (1998) proposes that assumption regarding a Decision-Maker (DM) available to explicitly express those parameters is not real. They are far different from the natural terms in which the DM express his/her preferences and expertise. For the new product design problem concerning consumer preference, a disaggregation preference method is an important approach to avoid certain problems derived of the parameters elicitation. The disaggregation analysis considers overall preferences, which could be infeasible for real problems, not just for the complexity of mathematical properties in the modeling, but also because the inconsistency of data when consumer express their preferences about products, which requires other methods to deal with the inherent characteristic of the multicriteria decision aids.

Consumer behavior analysis is accomplished using multicriteria preference analysis for each consumer separately in combination with data analysis methods, and techniques concerning consumer profiles in general. A consumer selection policy can be externalized by means of a set of reference products which he/she, the consumer, either has or can rank through simple questionnaires, familiar decision making situations, and so on (Siskos et al., 1995).

This paper presents a method to elicit parameters indirectly by using holistic information provided by the consumer through a ranking reference set of products A^* and some additional preference information. During a survey each consumer is asked to express his/her estimation for a set of products $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, and evaluate the products for each attribute based in her/his satisfaction level. In this work, we present a genetic algorithm of preference disaggregation as an indirect approach to determine the preference parameters, which are required by ELECTRE III to construct a valued outranking relation that represent the consumer's preference.

Referencias

- Y. Siskos, E. Grigoroudis, N. F. Matsatsinis, and G. Baourakis. Disaggregation analysis in agricultural product consumer behavior. In P. M. Pardalos, Y. Siskos and C. Zopounidis (Eds.), *Advances in Multicriteria Analysis*. 4824–4833. Kluwer Academic Publishers, 1995.
- V. Mousseau, and R. Slowinski. Inferring an ELECTRE TRI model from assignment examples. *Journal of Global Optimization*, 12 (2):4824–4833, 1998.

Random-key particle swarm optimization algorithm

Efraín Ruíz

División de Estudios de Posgrado. Instituto Tecnológico de Saltillo, Saltillo, Coahuila.

* Correo electrónico: eruiz@its.edu.mx

Abstract

A new algorithm for solving combinatorial optimization problems is proposed. The algorithm uses vectors of random-keys in the interval[0,1] to represent solutions of a given combinatorial optimization problem. A decoder is required to transform the keys in to solutions of the problem and viceversa. Four decoders were tested for two different problems; The capacitated minimum spanning tree (CMST) and the open vehicle routing problem (OVRP) The results showed that the algorithm was capable of finding better solutions for instances of both problems with a reasonable computational effort.

The OVRP was first proposed by Schrage (1981) and is a combinatorial optimization problem of type NP-hard. Due to its nature many heuristic have been developed for the problem. Among the most important heuristics for the OVRP, we can mention the one by Fleszar et al. (2009), who proposed a variable neighborhood search, the work by Repoussis et al. (2010) which proposes a hybrid evolution strategy, the work by Zachariadis and Kiranoudis (2010) and the ILP improvement by Salari et al. (2010). The best results for the instances without length constraints are those by Zachariadis and Kiranoudis (2010) while for instances with length constraints, the best results are those obtained by Ruiz and Reyes (2017). Although the difficulty of the problem, also exact methods have been developed like the branch-and-cut algorithm by Letchford et al. (2007).

The following table shows the results obtained by the algorithm for the OVRP with distance constraints on 6 test instances. Column *BRKGAM* refers to average cost of the best solution obtained in 5 runs for a biased random key genetic algorithm(BRKGGA). Column *PSOM* refers to average cost of the best solution obtained in 5 runs for a random key particle swarm optimization algorithm (RKPSO). Columns containing *CPU* refer to the average CPU time for both algorithms.

Table 1: Comparison between a biased random-key GA and the BRKGGA for the OVRP

Instance	BKS/UB	BRKGGA M	PSO M	BRKGGA CPU	PSO CPU
C6	412.95	412.96	412.96	20.79	26.20
C7	566.93	567.59	567.59	36.31	45.31
C8	640.89	649.37	648.73	133.34	201.95
C9	741.44	745.38	743.50	432.09	696.15
C10	871.58	879.68	876.52	1243.64	1269.67
C13	836.55	867.118	849.54	413.48	994.54
C14	552.64	554.668	554.67	94.39	106.83

The results show that the RKPSO is able to find better solution for four of the seven test instances. Although, the CPU times, of the RKPSO are greater than those of the BRKGGA

References

- Krzysztof Fleszar, Ibrahim H Osman, and Khalil S Hindi. A variable neighbourhood search algorithm for the open vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 195(3):803–809, 2009.
- Adam N Letchford, Jens Lysgaard, and Richard W Eglese. A branch-and-cut algorithm for the capacitated open vehicle routing problem. *Journal of the Operational Research Society*, 58(12):1642–1651, 2007.
- Panagiotis P Repoussis, Christos D Tarantilis, Olli Bräysy, and George Ioannou. A hybrid evolution strategy for the open vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 37(3):443–455, 2010.
- Efraín Ruiz and Ricardo Reyes. A biased random key genetic algorithm for the open vehicle routing problem with distance constraints. Technical report, Instituto Tecnológico de Saltillo, 2017.
- Majid Salari, Paolo Toth, and Andrea Tramontani. An ilp improvement procedure for the open vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 37(12):2106–2120, 2010.
- Linus Schrage. Formulation and structure of more complex/realistic routing and scheduling problems. *Networks*, 11(2):229–232, 1981.
- Emmanouil E Zachariadis and Chris T Kiranoudis. An open vehicle routing problem metaheuristic for examining wide solution neighborhoods. *Computers & Operations Research*, 37(4):712–723, 2010.

Método de solución en dos etapas para el problema del agente viajero múltiple

Azcarie Manuel Cabrera Cuevas y Jania Astrid Saucedo Martínez
FIME, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, N.L., México.

Resumen El modelo del problema del agente viajero múltiple o m -TSP (*Multiple Traveling Salesman Problem*) toma en cuenta un número finito de agentes que deben visitar todas las ciudades en su territorio, cada una de ellas siendo visitada solamente una vez por indeterminado agente, y con todos los agentes saliendo y regresando a la misma ciudad de partida (Lawler *et al.*, 1985). Con el propósito de resolver este problema se han empleado diversos métodos de solución exactos pero, a causa de que cuenta con un alto nivel de complejidad computacional debido a la pertenencia del primero al conjunto de problemas **NP** (Garey y Johnson, 1979), también se ha tratado de resolver con métodos aproximados heurísticos y metaheurísticos.

La investigación se trata de un caso de estudio con **150** ciudades (nodos) distribuidos a lo largo de la República Mexicana, los cuáles deben ser visitados por **cinco** vehículos promocionales (agentes). La capacidad no está contemplada como restricción, puesto que la demanda no supera la capacidad de los vehículos promocionales. Tomando en cuenta una misma ciudad de inicio y de fin (dado que es donde se encuentran las instalaciones de la empresa), cada uno debe de ser visitado solamente por un agente, lo que lo vuelve un problema afín al modelo del m -TSP ya que se desea minimizar las distancias de las rutas generadas.

Un método usado anteriormente para el m -TSP (Xu *et al.*, 2017) es el de «partir» el problema generando subconjuntos de nodos a ser resueltos como un modelo TSP (*Traveling Salesman Problem*) cada uno. Por lo tanto se propone un algoritmo que consiste en; agrupar los nodos, en la primera etapa, resolviendo el problema de las p -medianas o PMP (*P-Median Problem*); para posteriormente generar las rutas para cada subconjunto de nodos: resolviendo un TSP para cada subconjunto. Tocante al agrupamiento, se hará uso del PMP (Yakici y Yiğit, 2017) debido a su similitud con el algoritmo de k -medias (que es el más usado), y será resuelto utilizando un algoritmo de ramificación y acotamiento o B&B (*Branch & Bound*). Por otra parte, para la solución del TSP se aplicará un algoritmo de optimización basado en colonia de hormigas o ACO (*Ant Colony Optimization*), que debido a la complejidad del modelo mencionado (por ser un problema **NP**), puede ocasionar que los algoritmos exactos determinísticos pudieran aumentar su tiempo de solución exponencialmente a medida que se replique la experimentación con instancias que contengan un mayor número de nodos, y a pesar de que existen diversos algoritmos en la literatura, tal método de solución fue elegido para el TSP en razón de la naturaleza *ad hoc* para la construcción de rutas y su extensa aplicación en este modelo (Dorigo *et al.*, 2006).

Se realizará experimentación computacional para comparar la efectividad del algoritmo respecto a otros algoritmos existentes en la literatura. Para esto se considerarán diversas instancias disponibles en el TSPLIB para el m -TSP, contemplando las de menor tamaño (por ejemplo *ft70*) hasta las que contengan mayor número de nodos (por ejemplo *ali535* y mayores), y su solución para distinto número de agentes (hasta el doble de los que se consideran en el caso de estudio). La figura 1 muestra el algoritmo propuesto.

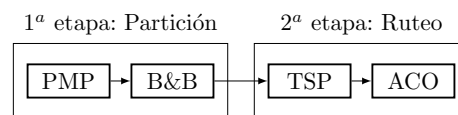


Figura 1: Diagrama general del algoritmo propuesto

Referencias

- Garey, M.R. y Johnson, D.S. *Computers and intractability. A guide to the theory of NP-completeness*. W.H. Freeman and company, 1979. USA.
- Yakici, E. y Yiğit, A. An Evolutionary Algorithm for p-Median Problem with Attribute Equity Constraint. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture*, 32(4):1–10, 2017.
- Xu, X., Yuan, H., Liptrott, M. y Trovati, M. Two phase heuristic algorithm for the multiple-travelling salesman problem. *Soft Computing*, Jul(12):1–15, 2017.
- Lawler, E.L., Shmoys, D.B., Rinnooy Kan, A.H.G. y Lenstra, J.K. *The traveling salesman problem*. John Wiley & Sons, 1985.
- Dorigo, M., Birattari, M. y Stutzle, T. Ant Colony Optimization. Artificial Ants as a Computational Intelligence Technique. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 1(4):28–39 2006.

Anticoloraciones en gráficas, enfoque multiobjetivo y por etapas

Luis Eduardo Urbán Rivero,^{1*} Javier Ramírez Rodríguez^{2**} Rafael López Bracho^{2**}

¹ Departamento de Matemáticas aplicadas, Universidad Autónoma Metropolitana Cuajimalpa, CDMX.

² Departamento de sistemas, Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, CDMX.

* Correo electrónico: lurban@correo.cua.uam.mx

** Correo electrónico: jararo,rlb@azc.uam.mx

Resumen El problema de anticoloración de gráficas resulta de la generalización del problema del separador de vértices propuesto originalmente en Lipton & Tarjan (1979). Dicho problema se propuso para resolver un problema de ajedrez ideado por Berge [Hansen et al. (1997)]. Una anticoloración se define como sigue: dada una gráfica $G = (V, E)$, una anticoloración es una coloración parcial (no es necesario que todos tengan color) $a : V \rightarrow S \cup \{\text{incoloro}\}$, con S el conjunto de colores. Tal que para cada $\{v, w\} \in E$, $a(v) = a(w)$ o al menos uno de los dos es *incoloro*. Con la definición anterior el Problema de Anticoloración de Gráficas (PAC) se define como sigue:

Problema (PAC)

Entrada: Una gráfica $G = (V, E)$ y $c_1, c_2, \dots, c_k$ enteros positivos, con $c_1 + c_2 + \dots + c_k \leq |V|$

Salida: 1 si se pueden colorear c_1 vértices del color 1, c_2 vértices del color 2 y así sucesivamente en $V(G)$ bajo la condición de anticoloración, 0 en otro caso.

Si $k = 2$ se conoce como el Problema de Coloración Blanco y Negro (BWC por sus siglas en inglés). Se sabe que resolver el PAC es NP-Completo aun para $k = 2$. Tanto el BWC como el PAC se pueden ver como problemas de optimización mono-objetivo si se fijan $k - 1$ cardinalidades de las clases de color y se maximiza la restante bajo la condición de anticoloración, en este sentido se propone una técnica por etapas en donde en cada etapa se resuelve un BWC. Una forma distinta de abordar el problema es mediante un enfoque multi-objetivo donde las tuplas no dominadas de cardinalidades de clases de color pueden ser vistas como soluciones factibles del PAC donde el conjunto de vértices incoloros es de tamaño mínimo. El PAC sólo ha sido abordado en su versión de dos colores y en esta ocasión es la primera vez en la que se muestran propuestas de modelos y métodos de solución para gráficas generales para el PAC con más de dos colores en cuanto al enfoque multi-objetivo se presenta una formulación del PAC como problema multi-objetivo y algunas propuestas de solución.

Referencias

Pierre Hansen, Alain Hertz, and Nicolas Quinodoz. *Splitting trees*. *Discrete Mathematics*, 165(1):403–419, 1997.

Richard J Lipton and Robert Endre Tarjan. A separator theorem for planar graphs *IAM Journal on Applied Mathematics*, 36(2): 179–189, 1979.

Selección de portafolios de inversión para el retiro a través de un Proceso de Análisis Jerárquico (AHP)

Saúl Domínguez Casasola^{1*}, y Heriberto Salazar Soto²

¹Maestría en Modelación y Optimización de Procesos, CIMAT, Aguascalientes.

² Universidad Autónoma de Aguascalientes

*Correo electrónico: saul.dominguez@cimat.mx

Resumen

Actualmente, algunos mexicanos se cuestionan sobre su seguridad social en el largo plazo, y buscan alternativas para garantizar las condiciones de vida que desean para su etapa de retiro, como respuesta han tomado fuerza instituciones enfocadas en este ramo financiero. Entre éstas, se pueden resaltar las proveedoras de seguros de gastos médicos mayores, seguros de vida, y aquellas que ofrecen servicios de seguridad patrimonial. Aunadas a éstas, existen también empresas con portafolios de inversión destinados a ser un fondo de ahorro para la vejez, que es un complemento a los recursos obtenidos al momento de jubilarse. Ante la diversidad de los portafolios de inversión, incluso dentro de una misma empresa, se debe analizar y decidir cuál elección es la que más conviene acorde a los criterios del decisor. Esta decisión se trata de un problema multicriterio y multiobjetivo, se busca obtener el mayor beneficio en el futuro, haciendo la menor inversión durante la vida productiva del decisor. En este proyecto, se analiza esta situación, y se utiliza una estrategia robusta para el análisis multicriterio conocida como Proceso de Análisis Jerárquico, AHP por sus siglas en inglés. Al implementar el AHP se le proporciona información suficiente al trabajador, para que haga la elección que mejor conviene a sus intereses futuros, sin comprometer su capacidad actual de atender sus necesidades.

Heurística para el problema de formación de células de manufactura considerando la secuencia de operaciones y presupuesto para adquirir máquinas adicionales

Dolores Edwiges Luna*, Juan A. Díaz y Jacobo Duez
Universidad de las Américas, Puebla

*Correo electrónico: dolores.luna@udlap.mx

Resumen

En este trabajo se estudia el problema de formación de células de manufactura considerando la secuencia de operaciones de las partes y un presupuesto para adquirir máquinas adicionales para reducir el flujo intercelular. El problema consiste en dividir las máquinas de un piso de producción en grupos, denominados células de manufactura, que procesan una familia de partes, es decir que requieren procesos similares. Adicionalmente, se considera un presupuesto para la adquisición de máquinas adicionales para replicar las máquinas más utilizadas en algunas células con el fin de reducir el flujo intercelular. Se propone un modelo matemático para el problema. Para obtener soluciones factibles se propone una heurística GRASP que inicialmente sólo considera las máquinas existentes. Para determinar cuáles máquinas replicar, se utiliza una medida de reducción de flujos intercelulares. La calidad del GRASP propuesto se prueba con varios conjuntos de instancias adaptadas de la literatura. Se presentan resultados preliminares.

Constrained Quadratic 0/1 Optimization From a Mean-Field Spin Glass Perspective

Arturo Berrones,^{1*,3} Jonás Velasco² and Juan Banda¹

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica,
Posgrado en Ingeniería de Sistemas

²CONACYT- Centro de Investigación en Matemáticas (CIMAT), A.C.

³Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas,
Posgrado en Ciencias con Orientación en Matemáticas

* Correo electrónico: arturo.berronesn@uanl.edu.mx

Abstract

A general scheme for the definition of probabilistic feasible solution generators of constrained binary optimization problems is presented. In the case of linearly constrained problems with positive pairwise random interactions is shown that the probabilistic generator converges to the simple (first order) mean field theory of spin Ising systems at large instance sizes. The maximization in a dual space of a free-energy measure that characterizes the solution generator gives a maximum lower bound for the solution of the original binary constrained task. The method is tested in the quadratic knapsack problem for which is capable to find high quality solutions in running times that are orders of magnitude shorter than state of the art algorithms, considering standard benchmarks with instance sizes that range from hundreds to thousands of variables. Experimental evidence indicates that the quality of the solutions improves with problem size for unstructured instances. This convergence is analytically characterized under the simple mean field theory, giving a decay rate in the optimality gap of $\epsilon \propto [Nd]^{-\frac{1}{2}}$, where N is the number of decision variables and d is the adjacency matrix density. Further experimental confirmation of this behavior is given under a new set of instances with sizes larger than previously reported in the literature Banda et al. (2017). From the mean field spin glass theory perspective, is possible to anticipate which types of problems and instances should be expected to be more amenable for stochastic heuristics. The extension of the theoretical and experimental insights gained from the quadratic knapsack problem to other quadratic binary problems is demonstrated by the optimization of the likelihood that arises in the training of deep probabilistic neural networks.

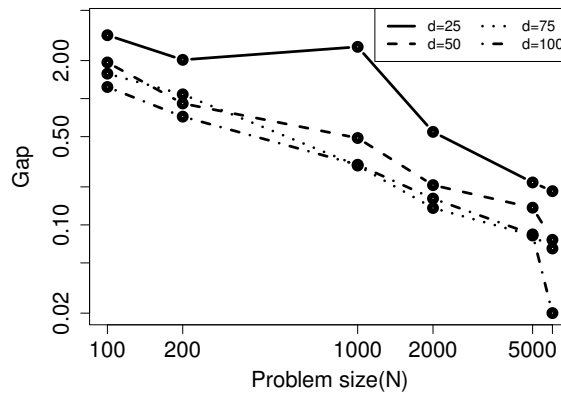


Figura 1: Gaps of the dual mean field solutions with respect to the best solutions known for all of the considered QKP instances. The gaps decay is consistent with the formula $\epsilon \propto [Nd]^{-\frac{1}{2}}$.

References

Banda, J., Velasco, J., & Berrones, A. (2017). Dual mean field search for large scale linear and quadratic knapsack problems. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 478, 158-167.

Comparación de métodos de defuzzificación en un modelo matemático para la selección de cartera de proyectos con incertidumbre en los requerimientos de tareas y presupuesto total disponible

Nancy M. Arratia-Martínez^{1*}, Nelly M. Hernández-González²

¹Depto. de Administración de Empresas, Universidad de las Américas Puebla, Puebla, México.

² Depto. de Ingeniería Industrial, Universidad de las Américas Puebla, Puebla, México.

* Correo electrónico: nancymatz@gmail.com

Resumen

El problema de selección de cartera de proyectos consiste en la elección de un conjunto de propuestas que optimicen uno o más objetivos sin exceder las limitaciones de recursos. Este problema surge en muchas organizaciones e instituciones que destinan y/o gestionan fondos públicos o privados para el financiamiento de proyectos en distintas áreas.

En este trabajo se estudia el caso de selección de cartera de proyectos cuando se tiene incertidumbre en la información, particularmente en el presupuesto total disponible y en la estimación de recursos necesarios para tareas y proyectos. Otros elementos considerados del problema de selección de cartera de proyectos, son: el desglose de proyectos en tareas, interdependencias, balanceo de la cartera, asignación de recursos a tareas de proyectos y políticas de asignación de recursos total y/o parcial.

Como resultado de la etapa inicial del estudio, se ha desarrollado un modelo de programación lineal entero mixto multiobjetivo para el caso sin incertidumbre (Arratia y colaboradores, 2016). Para el caso bajo incertidumbre se considera la representación de valores mediante números difusos triangulares, dando como resultado el modelo de programación difusa propuesto.

Posteriormente se estudian las distintas técnicas de defuzzificación para construir el modelo crisp de selección de cartera de proyectos, es decir, se aplica una transformación del modelo difuso. Estas técnicas se basan en dos tipos principales: el primero consiste en la definición de una función de indexado o de ordenamiento de números difusos y el segundo tipo se basa en el establecimiento de un grado de conformidad del tomador de decisiones, en el cual, considera cierta o verdadera una desigualdad (Campos y Verdegay, 1989).

Como método de solución se ha programado un algoritmo multiobjetivo basado en el algoritmo SAUGMECON (simple augmented epsilon-constraint method) presentado por Zhang y Reimann (2014). Finalmente, se presentan resultados que permiten analizar el impacto de las distintas técnicas de defusificación y asimismo hacer una interpretación ante la decisión de selección de cartera de proyectos final.

Referencias

- Nancy M. Arratia-Martínez, F. López Irraragorri, S. E. Schaeffer y L. Cruz-Reyes. Static R&D project portfolio selection. *Decision Support Systems*, 84(2016):53–63, 2016.
- Weihua Zhang y Marc Reimann. A simple augmented ϵ -constraint method for multi-objective mathematical integer programming problems. *European Journal of Operational Research*, 234(1):15–25, 2014.
- L. Campos and José Luis Verdegay. Linear programming problems and ranking of fuzzy numbers. *Fuzzy Sets and Systems*, 32 (1989):1-11, 1989.

Localización de puntos de emergencia considerando medidas de accesibilidad

Giselle N. Vázquez,^{1*} y Lucero Ozuna²

¹FIME, Maestría en Logística y Cadena de Suministro, UANL, San Nicolas de los Garzas, NL.

* Correo electrónico: gisellenaranjovazquez@outlook.com

Resumen

En la actualidad el número de emergencias humanitarias que son derivadas de desastres naturales o de conflictos causados por el hombre es cada vez mayor y se requiere de una respuesta inmediata, ya que la rápida respuesta que se le proporcione a las poblaciones afectadas es un factor crítico, por lo que dichos conflictos deben ser atendidos en poco tiempo y de forma eficiente. Existe una rama de la logística que Thomas y Mizushima (2005), la denominan como el proceso de planificación, ejecución y control eficiente del flujo de efectivo y el depósito de mercancías y materiales, así como la manipulación de la información desde el punto de origen al punto de destino, con el propósito de satisfacer las necesidades de las personas afectadas por eventos adversos, ya sea naturales (terremotos o inundaciones) o sociales (guerras o ataques terroristas), con el propósito de brindarle atención a personas que han sido víctimas para así poder minimizar el sufrimiento y las pérdidas humanas, y puedan lograr la recuperación de las condiciones anteriores en la zona afectada posiblemente mejorándolas, se le denomina logística humanitaria.

La logística humanitaria se divide en cuatro etapas, que en la literatura se denominan como: mitigación que consiste en los asuntos que se relacionan con las responsabilidades del gobierno, preparación son todas aquellas decisiones que se toman antes que suceda un desastre y se le da a conocer a la población, la etapa de respuesta son todas las actividades que se llevan a cabo una vez que ocurre el desastre y reconstrucción incluye todas las actividades de limpieza y reconstrucción.

En el momento en que sucede un desastre, las personas que viven en ubicaciones vulnerables son las más afectadas, teniendo como posibles consecuencias pérdidas humanas y heridos, sin tomar en cuenta las consecuencias materiales de las cuales también tienen que sobreponerse, una de las actividades más importantes en logística es la localización. El problema de localización general consiste en un conjunto de puntos que se tienen que ubicar para satisfacer a ciertos clientes, en el caso de logística humanitaria tiene como objetivo ubicar puntos de ayuda, refugios, centros de acopio, etc. para poder atender la mayor cantidad de personas de la manera más eficiente.

En este trabajo se plantea una formulación matemática para el problema de localización de puntos de emergencia ante un desastre natural tomando en cuenta la accesibilidad como medida de desempeño, basada en la medida presentada por Ibarra-Rojas et al. (2017), donde se consideran no solo la distancia recorrida si no la distancia a la oportunidad más cercana, el número de oportunidades, la cobertura y la desagregación geográfica. Se hace un análisis de los resultados obtenidos y se hace una comparación de las medidas de desempeño usadas en literatura contra la medida de accesibilidad planteada.

Referencias

- Thomas A. y Mizushima M, (2005) *Logistics training: necessity or luxury?*. Forced Migration Review, 2005, vol. 22, pp. 60-61.
OJ Ibarra rojas, L Hernandez, L Ozuna, (2018). *The Accessibility Vehicle Routing Problem*. Journal of Cleaner Production, 2017, vol. 172, pp. 1514-1528.

Construcción de rutas de aprendizaje mediante modelación matemática y planificación de Inteligencia Artificial

Cristina Maya Padrón,^{1*} y Romeo Sanchez Nigenda²

¹Universidad Politécnica de García, García, Nuevo León.

²Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

* Correo electrónico: cristina.maya@upg.com.mx, kerstin.maya@gmail.com

Resumen

El problema de generación de rutas de aprendizaje (secuencias de actividades de aprendizaje) puede plantearse de la siguiente manera: considerando que se tiene un programa académico, el cual está comprendido por las materias que el estudiante debe cursar, y que a su vez cada materia está compuesta por un conjunto de temas o unidades de aprendizaje, se asume que existen diversas actividades de aprendizaje modeladas por el instructor/educador que el estudiante puede realizar para aprobar cada objetivo de aprendizaje. De manera que teniendo esto en consideración, queremos generar una secuencia ordenada de actividades de aprendizaje para el estudiante que le permitan minimizar el tiempo total que puede dedicar a dichas actividades, considerando una utilidad (score) por cada objetivo de aprendizaje aprobado. Se considera además, la precedencia de actividades de aprendizaje y actividades que son consideradas obligatorias.

La metodología utilizada es una combinación de la Planificación de Inteligencia Artificial con la modelación matemática de Investigación de Operaciones. Representamos el plan de estudios, así como la información del estudiante, en un *modelo de planificación* de Inteligencia Artificial (Russell y Norvig, 2004). El diseño del modelo de planificación está basado en el lenguaje de definición de dominios de Planificación (PDDL) (Fox y Long, 2003), el cual es un estándar de codificación de dominios de planificación. Los modelos de planificación utilizan para su solución algoritmos de propósito especial llamados planificadores los cuales consideran de entrada el modelo de planificación y generan una solución. Al resultado del proceso de planificación se llama “solución” (Russell y Norvig, 1996), la cual es un *plan* que un agente puede ejecutar y garantiza el logro de la meta. Los planificadores seleccionados en este trabajo para dar solución a los modelos de planificación generados son SGPLAN (Hsu y W.Wah, 2008) y LPG (Gerevini et al, 2003).

Con respecto a la programación matemática, realizamos un modelo lineal entero mixto para obtener el conjunto de actividades de aprendizaje que minimicen el tiempo total (función objetivo). Una vez teniendo la selección de estas actividades, se utiliza la planificación de Inteligencia Artificial para obtener el orden en el cual se deben realizar dichas actividades, generando así un plan (secuencia de acciones). Este plan es la ruta de aprendizaje que un estudiante puede realizar, el cual considera el estado inicial de dicho estudiante y sus objetivos, teniendo así rutas de aprendizaje personalizadas.

El diseño de las instancias para la experimentación considera tres clases de modelos diferentes: pequeña, mediana y grande. Las clases del modelo varían en el número de tareas de aprendizaje que representan. Para esto establecimos una sola materia y variamos la cantidad de temas, subtemas y actividades de aprendizaje. Consideramos que se modela un solo estudiante, los recursos son ilimitados y la función objetivo es minimizar el tiempo total. Con respecto a la asignación de utilidad (score) de las actividades de aprendizaje consideramos dos rangos de valores: uniformes y aleatorios. Asumimos que la utilidad y la duración de las actividades tienen una relación directa, es decir a mayor duración de las actividades mayor utilidad.

Referencias

- Fox, Maria y Long, Derek. PDDL 2.1: An Extension to PDDL for Expressing Temporal. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 2004.
- Russell, Stuart y Norvig, Peter. Inteligencia Artificial. Un enfoque Moderno. *Pearson Educación*, 2004.
- Hsu, Chih-Wei y W.Wah, Benjamin. The SGPlan Planning System in IPC-6. *Association for the Advancement of Artificial Intelligence*, 2008.
- Gerevini, Alfonso y Saetti, Alessandro y Serina, Ivan. Planning through Stochastic Local Search and Temporal Action Graphs. *Journal of Artificial Intelligence Research (JAIR)*, 2003.
- Russell, Stuart y Norvig, Peter. Inteligencia Artificial. Un enfoque Moderno. *Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.*, 1996.

Estrategia de Optimización de Diseño de Página en Documentos Planos de Tamaño Fijo

Mario Eduardo Marín Limón,¹ y Jorge Raul Pérez Gallardo²

¹Centro de Investigación en Matemáticas, Unidad Aguascalientes

²CONACYT – Centro de Investigación en Matemáticas, Unidad Aguascalientes

* Correos electrónicos: ¹mario.marin@cimat.mx, ²raul.perez@cimat.mx

Resumen

El diseño de página en documentos planos “ludia con la ubicación de elementos visuales en una página, obedeciendo a principios de composición y objetivos de comunicación” (O’Connor, 2014). En la mayoría de los casos, una publicación periódica tiene un diseño de página con reglas fijas. Estas reglas fijas dan lugar a restricciones matemáticas que permiten el planteamiento de un modelo matemático sujeto a ser resuelto como problema de layout o como un conjunto de problemas de optimización combinatoria interrelacionados del tipo “Knapsack problem”.

A pesar de los avances en tecnología desde el siglo XV al XXI, el problema del diseño de página se mantiene como un problema no trivial que requiere de tiempo de planeación considerable, procesos de prueba y error, e incluso modificaciones al material original a publicar. El problema es de alta relevancia tanto técnica como social ya que métodos cada vez más automatizados de generación de diseños de página reducen considerablemente los tiempos de trabajo y costos incurridos, así como el nivel de conocimiento en diseño gráfico necesario para la generación de publicaciones periódicas, coadyuvando a la mayor generalización y democratización de herramientas para la prensa escrita.

Se propone la modelación del proceso de diseño de página para su resolución mediante algoritmos heurísticos que facilitan hallar la mejor solución de un conjunto de modelos tipo “Knapsack problem”, cada uno representando una posible solución de diseño de página para un conjunto fijo de elementos visuales, es decir, una página de una publicación. Esto con el objetivo de, en cierto grado, automatizar el proceso de diseño de página para prácticamente cualquier combinación factible de elementos textuales y gráficos dentro de las páginas de la publicación cuyas reglas hayan sido modeladas.

El siguiente trabajo presenta la aplicación de técnicas de modelación matemática, optimización heurística, optimización combinatoria y análisis multicriterio para abordar el problema de Diseño de Página en Documentos Planos de Tamaño Fijo de una empresa dedicada a publicación de periódicos impresos en la ciudad de Aguascalientes con miras al diseño de un sistema experto. El trabajo está encaminado a lograr reducir el tiempo y los recursos dentro del proceso del diseño de página. Para la construcción del algoritmo de optimización se analizaron heurísticas específicas al problema de diseño, así como algoritmos utilizados para modelos tipo “Knapsack problem” susceptibles de adaptarse al problema de diseño de página evitando el problema del layout y su alto costo computacional y complejidad (Singh et al., 2006). Se utilizó el lenguaje de programación Python 3 para la implementación de los algoritmos de optimización así como el Hypertext Markup Language versión 5 (HTML5) y Cascading Style Sheets versión 3 (CSS3) para la generación visual de los diseños de página, y el Portable Document Format para su preparación a impresión o publicación.

Referencias

O’Connor, Z. Elements and Principles of Design. *Design Research Associates.*, 2014.

Singh, S.P y Sharma, R.K. A Review of Different Approaches to the Facility Layout Problems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 425-431, 2006

Una metaheurística aplicada en un problema de ruteo de vehículos para turistas, considerando carga y descarga de pasajeros.

Pedro I. Loera Martínez* e Iris A. Martínez Salazar

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

* Correo electrónico: pilm18@hotmail.com

Resumen

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, 2016). La OMT (Organización Mundial del Turismo) coloca a México en el noveno lugar en número de visitantes extranjeros a nivel mundial, y en segundo lugar en el continente americano (UNWTO, 2016). Entre los servicios ofrecidos al sector turístico sobresalen el transporte de pasajeros, así como también los servicios brindados en restaurantes, bares y centros nocturnos.

Este trabajo propone la resolución de un problema de ruteo de m autobuses con capacidad limitada de pasajeros, considerando carga y descarga; los autobuses deben transportar a un conjunto de n personas a través de distintos atractivos turísticos presentes en una comunidad. Cada turista está asignado a un hotel, y debe iniciar y terminar su recorrido en su respectivo alojamiento. Se tiene un tiempo límite para que cada turista visite diferentes lugares antes de regresar a su hotel. Se establece una lista de prioridades, la cual determina la preferencia de cada persona para cada atractivo turístico y existe un tiempo de recorrido establecido para cada uno de estos.

En el momento en que un vehículo llega a un punto turístico, este puede descargar y/o cargar pasajeros. El objetivo consiste en determinar los itinerarios de los turistas y los autobuses, de tal manera que maximice la satisfacción del turista con el menor beneficio obtenido, considerando los sitios visitados y las penalizaciones basadas en retrasos.

Se propone un modelo matemático para resolverlo, así como una metaheurística. El modelo matemático proporciona resultados óptimos para instancias de dimensión pequeña. Por otro lado, en la metaheurística se analizan diferentes funciones de evaluación para cada uno de los estados del sistema, y es capaz de obtener buenas soluciones en un tiempo computacional muy bajo.

Referencias

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI 2016). *Indicadores trimestrales de la Actividad turística (ITAT)*. Fecha de recuperación, junio 2016. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/itat/default.aspx>

World Tourism organization (UNWTO 2016). *World Tourism Barometer. Volumen 14, Julio 2016-Statistical Annex*. Fecha de recuperación, agosto 2016. <http://mkt.unwto.org/es/barometer>

On the Conditional In-Control Performance for Nonparametric Control Charts

Elena Cristina Villanueva-Guerra^{1*}, Víctor Gustavo Tercero-Gómez,¹ y Alvaro Eduardo Cordero-Franco²

¹Tecnologico de Monterrey, Monterrey, Nuevo León.

²Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

* Correo electrónico: cristina.villanueva.mty@itesm.mx

Abstract

Traditional parametric approaches follow a two-phase implementation process: Phase I (estimation) and Phase II (monitoring). A limited Phase I sample is used, the performance that follows the monitoring phase is compromised. Average and standard deviation of run-length (*ARL* and *SDRL*), are used to measure performance of a control chart. When a limited estimation phase, the *ARL* becomes a random variable. Different practitioners or users with different reference samples have different *ARL* performance. Saleh et al. [2015] define this variability as practitioner-to-practitioner variability. To measure practitioner-to-practitioner variability, we are going to use the average and standard deviation of *ARL* and *SDRL*, denoted by *AARL*, *SDARL*, *ASDRL* and *SDSDRL*. For more information on the topic see Jones and Steiner [2012], Jones-Farmer et al. [2014].

Practitioners can address this issue by using self-starting methods, control limits adjustments, and nonparametric procedures. The first two solutions have the drawback of assuming knowledge of the process distribution, and it has been shown that dependency on early estimates still exists, at least in the form of a reduction in power to detect changes.

Nonparametric approaches avoid the need to estimate a parameter and or even commit to a distribution function. Nevertheless, instead of using estimated values as a reference, many nonparametric control charts depend on the complete Phase I sample as a reference for process monitoring. Distributional assumptions and parameter estimations are no longer an issue. However, dependence on a reference sample might degrade performance significantly to the degree that hasn't been previously measured. The objective of this research is, have the knowledge of this variability between practitioners on the Li et al. [2010] CUSUM control chart for location, because of its strong dependency on the reference sample.

Experimentation methodology:

1. Apply the control chart to the generated Phase I and Phase II, obtain the run-length (RL).
2. Repeat $r = 10,000$ times step 1, using the same Phase I sample. Finally, the *ARL* and *SDRL* are
3. Repeat $r = 10,000$ times step 1, with the same Phase I. Finally, the *ARL* and *SDRL* are computed for this reference sample selected. computed for this reference sample selected.
4. Finally, using a different Phase I in each, repeat $R = 1,000$ times steps 1 and 2. *AARL*, *SDARL*, *ASDRL*, and *SDSDRL* are computed, recorded and analyzed.

In this presentation discusses the problem and some preliminary results are presented. The preliminary results are for the different scenarios: we are going to change the reference sample (X) size $n = 30, 50, 100, 200, 500, 1000$, subgroup (Y_i) size $m = 1, 3, 5, 10$, and the distribution functions to use are: Normal, Weibull, Gamma, Double Exponential, Lognormal and t -student.

Referencias

- Mark A Jones and Stefan H Steiner. Assessing the effect of estimation error on risk-adjusted cusum chart performance. *International Journal for Quality in Health Care*, 24(2):176–181, 2012.
- L Allison Jones-Farmer, William H Woodall, Stefan H Steiner, and Charles W Champ. An overview of phase i analysis for process improvement and monitoring. *Journal of Quality Technology*, 46(3):265–280, 2014.
- Su-Yi Li, Loon-Ching Tang, and Szu-Hui Ng. Nonparametric cusum and ewma control charts for detecting mean shifts. *Journal of Quality Technology*, 42(2):209–226, 2010.
- Nesma A Saleh, Mahmoud A Mahmoud, Matthew J Keefe, and William H Woodall. The difficulty in designing shewhart $\bar{x}$ and s control charts with estimated parameters. *Journal of Quality Technology*, 47(2):127–138, 2015.

A choice model for the product design problem based on a multicriteria decision aiding approach

Omar Ahumada Valenzuela^{1*}, Juan Carlos López Leyva y

Alma Montserrat Romero Serrano

Departamento de Ciencias Economico-Administrativas, Universidad de Occidente.

* Correo electrónico: omar.ahumada@udo.mx

Abstract

New product design is critical for the long-term profitability and competitiveness of companies. Even though many optimization algorithms have been applied for solving the problem, most of them adopt choice models based on utilities to simulate the consumer's choice behavior. In today's competitive environment the development of appropriate new products is necessary for the survival of a company. The optimal product design is a significant part of the new product development problem and one of the most crucial decisions for a company. Several intelligent models and algorithms have been applied to the product design area, contributing greatly to its formalization and automation. Normally, these models and algorithms have been incorporated into Marketing Decision Support Systems (MkDSS). While the optimization part of the problem has been abundantly studied, little attention has been paid to the models simulating the consumer's choice process. In this paper, we propose a choice model based on the outranking approach for handling in algorithms that solve the optimal product design problem, using the share of choices criterion. The use of Genetic Algorithms allows for the representation of preference heterogeneity among consumers with the highest possible accuracy, while improves the model's predictive performance. Our model deals with preference heterogeneity among consumers, while the model's predictive accuracy is optimized.

Usando un GRASP para determinar el despliegue de unidades policiales

José-Fernando Camacho-Vallejo¹, Dolores E. Luna² y Juan A. Díaz²

¹Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México.

²Universidad de la Américas Puebla, Cholula, México.

* Correo electrónico: jose.camachovl@uanl.edu.mx

Resumen

En los últimos años, según el INEGI, la tasa de aumento en la población mexicana es de 1.5 millones de personas por año. Esto nos lleva a que muchos municipios de los diferentes estados de la República Mexicana han tenido un aumento demográfico. Desafortunadamente, el INEGI también confirma que este aumento en la población va de la mano con un incremento del número de crímenes y delitos cometidos en el país. Esto se ve reflejado en la percepción que tienen los ciudadanos con respecto a su residencia en el país. Según encuestas hechas por diferentes medios reconocidos, la mayoría de los ciudadanos se sienten inseguros de vivir en el país.

Es por esto que estamos interesados en modelar matemáticamente el problema para realizar el despliegue de unidades en base a los pronósticos hechos sobre la ocurrencia de los delitos en las diferentes zonas de un municipio. Actualmente ya hay trabajos que hacen modelos estadísticos predictivos considerando datos históricos y otros factores sociodemográficos. Sin embargo, ninguno de esos trabajos ha integrado la parte de optimización del rol de patrullaje (despliegue de unidades). Pero, se han hecho esfuerzos independientes para analizar este otro problema. Por ejemplo, en Camacho-Collados y Liberatore (2015) se propone una herramienta para tomar decisiones relacionadas con las estrategias para el patrullaje usando información de Madrid, España. Luego, en Camacho-Collados, et. al (2015) estudian un modelo multicriterio para diseñar las zonas de patrullaje de la misma región de Madrid. Siguiendo esta misma línea, en Curtin y Hayslett-McCall (2010) proponen otro modelo para realizar los distritos y asignar las patrullas de Búfalo, Nueva York. Más cercano con nuestro problema encontramos a D'amico, et. al (2002), en donde estudian un modelo de máxima cobertura para ubicar patrullas aplicado en Dallas, Texas obteniendo mejores resultados que la decisión actual (en términos de distancia recorrida y zonas atendidas).

En esta charla se presenta un modelo de programación matemática para la optimización del despliegue de unidades basado en las predicciones de ocurrencia de los delitos. Además, se describe un GRASP para la obtención de cotas factibles del problema. Para evaluar el desempeño del GRASP propuesto se realizaron pruebas computacionales con una instancia real de un municipio del Estado de Nuevo León, y con un conjunto de instancias generadas aleatoriamente a partir de datos del Estado de México y del Distrito Federal. Se presentan los resultados obtenidos y se comparan con las soluciones obtenidas con la formulación propuesta (en instancias donde es posible). Para las instancias más grandes se muestra la estabilidad del GRASP propuesto.

Referencias

- Camacho-Collados, M., Liberatore, F. Decision Support System for predictive police patrolling. *Decision Support Systems*, 7(1): 25–37, 2015.
- Camacho-Collados, M., Liberatore, F., Angulo, J.M. A multi-criteria Police Districting Problem for the efficient and effective design of patrol sector. *European Journal of Operational Research*, 246:674–684, 2015.
- Curtin, K.M., Hayslett-McCall, K. Determining Optimal Police Patrol Areas with Maximal Covering and Backup Covering Location Models. *Networks and Spatial Economics*, 10:125–145, 2010.
- D'amico, S.J., Wang, S.-J., Batta, R., Rump, C.M. A simulated annealing approach to police district design. *Computers & Operations Research*, 29: 667–684, 2002.

Un algoritmo de ramificación y acotamiento para resolver un problema binivel de cierre de instalaciones competitivas.

Juan-Carlos García-Vélez,^{1*} José-Fernando Camacho-Vallejo¹, Juan A. Díaz ² y Diego Ruiz-Hernández³

¹Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, Universidad Autónoma de Nuevo León, México

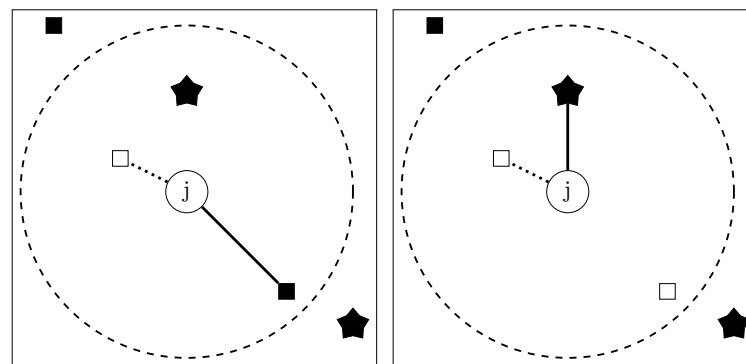
²Departamento de Física, Actuaria y Matemáticas, Universidad de las Américas Puebla, México.

³Departamento de Métodos Cuantitativos, Colegio Universitario de Estudios Financieros, Madrid, España.

* Correo electrónico: juan.garciavlz@uanl.edu.mx

Resumen

Los problemas de localización de instalaciones competitivas son de interés actual de la comunidad científica. Se pueden observar varios artículos publicados recientemente sobre este tema. La mayoría de los trabajos se enfocan en dos compañías competidoras que desean abrir instalaciones (r y p , respectivamente) para capturar la mayor proporción del mercado. Este problema se conoce en la literatura como el (r/p) -centroide. Sin embargo, existen situaciones actuales en diversos ámbitos sociales, políticos, económicos y financieros que pueden requerir que se cierren algunas instalaciones de las existentes. La literatura sobre este tipo de problemas es escasa, solamente encontramos el trabajo de Ruiz et al. (2016). Nosotros definimos el problema del (r/p) -centroide negativo en donde ambas compañías desean cerrar instalaciones de las que tienen actualmente operando con normalidad (abiertas). Otra novedad de este trabajo es que se considera la lealtad de los clientes para hacer la asignación hacia las instalaciones. Es decir, no se asignan en base al criterio de la distancia más corta. En la Figura 1 se ejemplifica la forma de considerar la lealtad. Además de definir el problema y explicar su justificación, se propone una adaptación del algoritmo de ramificación y acotamiento propuesto por Bard y Moore (1992) (enumeración implícita). La experimentación computacional indica que el algoritmo adaptado es capaz de resolver instancias eficientemente a bajo costo computacional en comparación con un método de enumeración explícita. Finalmente, se presenta una discusión sobre el impacto de considerar la lealtad de los clientes en el problema.



(a) Ejemplo de un cliente leal, permanece con la misma compañía. (b) Cliente capturado por la competencia.

■- instalación del líder abierta ★- instalación del seguidor abierta

Figura 1: Lealtad de un cliente j hacia la compañía a la que es leal sin importar la distancia pero dentro de un radio predefinido (círculo punteado). En blanco se denota una instalación cerrada.

Referencias

- Bard, Jonathan F. and Moore, James T. *An algorithm for the discrete bilevel programming problem. Naval Research Logistics*, (1992), 419–435.
- Ruiz, D., Elizalde, J., Delgado D. (2016). *Cournot-Stackelberg games in competitive delocation. Annals of Operations Research*, (2016). DOI 10.1007/s10479-016-2288-z.

Un algoritmo heurístico basado en puntos extremos para resolver un problema binivel aplicado a la regulación de mercado en la industria petroquímica

Héctor Saib Maravillo Gómez,^{1*} José-Fernando Camacho-Vallejo¹, Martine Labbé² y Justo Puerto³
¹Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México.
²Département d'Informatique, Université Libre de Bruxelles, Bruselas, Bélgica.
³Facultad de Matemáticas, Universidad de Sevilla, Sevilla, España.

* Correo electrónico: hector.maravillogm@uanl.edu.mx

Resumen

En México, durante varias décadas el marco institucional dividió la industria petroquímica en dos ramas: petroquímica básica y petroquímica secundaria. La primera era monopolizada por el gobierno mexicano a través de PEMEX y sus subsidiarias; en la segunda competía la paraestatal con las empresas privadas en un mercado abierto (Martínez, 2001). Para estudiar la situación recién descrita, se propone un modelo de programación binivel, el cual se caracteriza por una industria en la cual el gobierno tiene el monopolio de la producción de los insumos industriales y compite con las empresas privadas en el mercado de bienes de consumo final.

Una situación similar ha sido estudiada en la literatura bajo el concepto de oligopolio mixto, donde al menos una compañía pública compite con una firma privada en determinado mercado (De Fraja y Delbono, 2003). Cuando estos estudios incluyen relaciones jerárquicas en el mercado, entre el gobierno y las empresas privadas, lo usual es recurrir a modelos basados en juegos de Stackelberg como en Matsumura (2003). Nuestro planteamiento se diferencia de lo recién mencionado al introducir la división de la industria en dos ramas y el monopolio del gobierno de una de ellas; así como en plantear que el objetivo del gobierno es equilibrar la producción con una demanda fija.

Para resolver el problema se propone un algoritmo heurístico basado en la exploración de los puntos extremos de la región inducida del problema binivel. El algoritmo genera un punto extremo en cada iteración de tal forma que mejore el valor de la función objetivo del líder. Primero, se comienza encontrando un conjunto de puntos extremos a partir de algunas soluciones factibles al problema binivel. Después, se resuelve iterativamente un problema auxiliar que incluye las restricciones del nivel superior e inferior junto con otras restricciones que obligan reducir la diferencia entre los valores de la función objetivo del problema primal y dual del nivel inferior. La idea es desplazarse entre los vértices del problema dual del nivel inferior y encontrar nuevos vértices en cada iteración. El algoritmo se detiene cuando no es posible mejorar la solución. Se realizan experimentos numéricos utilizando instancias pseudo-aleatorias inspiradas en la industria petroquímica mexicana.

Además, debido a las características del problema, es común la existencia de múltiples soluciones óptimas en el nivel superior del problema. Por lo tanto, se propone un esquema para obtener diferentes soluciones óptimas partiendo de una solución óptima inicial. Esto permite al tomador de decisiones (en este caso el gobierno) no sólo lograr su objetivo (equilibrar la oferta con la demanda) sino también regular el nivel de ganancia de las empresas privadas.

Referencias

- Martínez, N. Evolución y expresión territorial de la industria petroquímica en México. *Investigaciones geográficas*, (46):98-116, 2001.
- De Fraja, G., y F. Delbono. Game theoretic models of mixed oligopoly. *Journal of Economic Surveys*, 4(1):1-17, 2003.
- Matsumura, T. Stackelberg mixed duopoly with a foreign competitor. *Bulletin of Economic Researches*, 55(3):275-286, 2003.

73

Introducción a la transformación de puntajes normales secuenciales

Adrián Macías López* y Víctor G. Tercero Gómez
Tecnológico de Monterrey. Escuela de Ingeniería y Ciencias

*Correo electrónico: adrian.890827@hotmail.com

Resumen

Los Puntajes Normales Secuenciales (Sequential Normal Scores, SNS por sus siglas en inglés) son una nueva transformación propuesta por Conover et al. (2017) en la que se transforman los datos secuenciales a SNS independientes y asintóticamente de distribución normal estándar, la distribución más usada en el mundo. Uno de los supuestos más usados en la estadística industrial es el supuesto de normalidad, o que al menos la distribución de las observaciones es conocida. Sin embargo, este supuesto no siempre puede ser soportado, por lo que los practicantes tienen que recurrir al uso de técnicas de estadística no paramétrica como solución. Estas técnicas son conocidas por ser más poderosas que sus contrapartes paramétricas para detectar cambios en los procesos cuando los supuestos distribucionales no se cumplen. Con la transformación de SNS (Sequential Normal Scores) se pueden crear herramientas, entre ellas las cartas de control, para así usar cartas de control tradicionales sin la necesidad de cumplir con el supuesto de normalidad de los datos sin procesar o antes de la transformación. En esta investigación se introduce el concepto de rangos secuenciales, su evolución hacia los sequential normal scores y se discute alguna tendencia para futuras investigaciones.

Referencias

W. J. Conover, Víctor G. Tercero-Gómez and Alvaro E. Cordero-Franco. The Sequential Normal Scores Transformation. *Sequential Analysis. Design Methods and Applications*, 36(3):397–414, 2017.

Un algoritmo de estimación de distribuciones para el problema de zonificación de lotes agrícolas

Salvador Vicencio*, y Víctor Macedo Becerril y Jonás Velasco Álvarez
Maestría en Modelación y Optimización de Procesos, CIMAT, Aguascalientes.

*Correo electrónico: chavachuui@gmail.com

Resumen

Los algoritmos de estimación de distribuciones (EDAs por sus siglas en inglés, (Estimation of Distribution Algorithms)), son una clase de algoritmos evolutivos basados en poblaciones. La principal diferencia entre los EDAs y los algoritmos evolutivos convencionales, es que los algoritmos evolutivos generan nuevas soluciones mediante distribuciones implícitas definidas por sus operadores de variación. Un ejemplo de lo anterior es el operador de cruza y mutación en los algoritmos genéticos. Por otro lado, los EDAs requieren de la estimación de distribuciones de probabilidad explícitas (modelos probabilísticos) y muestrear sobre ella para realizar el proceso de variación Larrañaga y Lozano (2001). En años recientes, ha habido un interés creciente por los EDAs, ya que son una herramienta prometedora para resolver problemas difíciles de optimización en espacios discretos y continuos.

El problema de zonificación de lotes agrícolas consiste en generar sub-regiones dentro de una parcela (lote), considerando que dichas sub-regiones sean homogéneas con respecto a una propiedad específica del suelo (física o química). Las ventajas de este tipo de zonificación es garantizar la aplicación exacta de nutrientes e insumos en cada región específica de la parcela, permitiendo disminuir el impacto ambiental y generar un ahorro de recursos y de capital de inversión por parte del productor agrícola. En el artículo Cid-García et al. (2013) se abordó un modelo y una metodología exacta para resolver el problema de zonificación que considera como espacio de solución, zonas con formas cuadradas y rectangulares dentro de un lote agrícola. Debido a la limitación de la metodología exacta para representar formas geométricas distintas a los cuadrados y rectángulos dentro de los lotes agrícolas, es necesario la construcción de una nueva metodología que explore formas irregulares, como por ejemplo, formas en "T", "L", "Z", entre otras. Cabe mencionar que, en la literatura especializada, no se reportan implementaciones de cómputo evolutivo y de ninguna otra clase de metaheurísticas para abordar el problema de zonificación, ni con formas regulares, ni con las irregulares.

En este trabajo de investigación, se propone una novedosa implementación de un algoritmo de estimación de distribuciones para el problema de zonificación de lotes agrícolas. Dicha implementación, tiene particularidades en la representación y construcción de soluciones, la cual "aprende", dentro del proceso evolutivo, una distribución de probabilidad que permite generar zonas con formas regulares e irregulares que minimizan el número de divisiones dentro de la parcela, sujeto a la condición de que las divisiones mantienen un nivel de homogeneidad establecido por el agricultor.

Para evaluar el desempeño de la metodología propuesta, se utilizó el estudio de caso de un lote agrícola ubicado en Chile y se comparó con los resultados obtenidos por la metodología exacta que se reporta en Cid-García et al. (2013). Los resultados preliminares muestran que el EDA propuesto brinda soluciones superiores, en términos de la calidad de la solución y del tiempo computacional, comparado contra los reportados por la metodología exacta. Cabe mencionar que las soluciones encontradas por el EDA son factibles para todos los niveles de homogeneidad establecidos. Como trabajo futuro, se estudiará un conjunto de instancias de prueba de mayor tamaño y se realizarán mejoras al EDA propuesto.

Referencias

- Cid-García, N. M., Albornoz, V., Ríos-Solís, Y. A., and Ortega, R. Rectangular shape management zone delineation using integer linear programming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 93:1–9, 2013.
- Larrañaga, Pedro, and Lozano Jose A. (Eds.) *Estimation of distribution algorithms: A new tool for evolutionary computation*. Springer Science & Business Media, Volume 2, 2001.

Diseño de horarios para sincronizar grupos de líneas de transporte en paraderos comunes

Omar J. Ibarra-Rojas,* y Juan García Cortés
 Universidad Autónoma de Nuevo León

* Correo electrónico: omar.ibarrarj@uanl.edu.mx

Resumen

El diseño de horarios para la planificación del transporte público es un problema de toma de decisiones que determina los tiempos de despacho y llegada, desde y hacia los paraderos, respectivamente, con el fin de aumentar el nivel de servicio de los pasajeros en términos de los tiempos de espera y/o disminuir costos operacionales en términos del uso de vehículos y conductores (ver review de Desaulniers y Hickman., 2007). En particular, la sincronización de horarios se refiere a la coordinación de llegadas y salidas de viajes de diferentes líneas en paraderos comunes. Lo anterior es relevante ya que en cualquier sistema de transporte urbano, los pasajeros realizan actividades de transbordo o tienen diferentes líneas como alternativas para llegar a su destino. Sin embargo, la sincronización de líneas no es un proceso trivial ya que depende de la cantidad de viajes a programar, los horarios de las líneas, los tiempos de recorrido desde el origen de las líneas hasta los puntos de sincronización y la medida de sincronización.

Respecto a estudios en literatura, Ceder y Tal. (2001) definen un problema de diseño de horarios que determina los tiempos de despacho a fin de maximizar el número de llegadas simultáneas por pares de líneas a paraderos de transbordo, a lo que los autores definen como un evento de sincronización. Más recientemente, Ibarra-Rojas y Rios-Solis. (2012) re-definen un evento de sincronización como el arribo de dos viajes de líneas diferentes que cumplan con tiempo de separación acotado, lo que permite representar la sincronización en puntos de transbordo, como en puntos donde existe aglomeración de buses de diferentes líneas. Los autores muestran que dicha clase de problemas que consideran eventos, son NP-Duros para casos de más de dos líneas. Además del caso de transbordo, la sincronización de grupos de líneas es relevante para pasajeros que pueden ser servidos por más de una línea, los cuales pueden ser beneficiados mediante una coordinación adecuada de dichas líneas en dichos paraderos comunes a fin de reducir el tiempo de espera en conjunto, es decir, considerando todas esas alternativas como una sola línea. Por ejemplo, Ibarra-Rojas y Muñoz. (2016) presentan un problema para determinar los tiempos de despacho de un conjunto de viajes de tal manera que se reduzca una métrica de desviación respecto a un tiempo de separación “ideal” en los puntos de sincronización. Los autores asumen que se tiene un intervalo de factibilidad para cada tiempo de despacho, una tasa de llegada de pasajeros para cada grupo de líneas y paraderos de sincronización, además de funciones de tiempos de recorrido dependientes del tiempo de despacho. Sin embargo, la medida de desempeño propuesta solo puede considerarse como una aproximación al enfoque de minimizar tiempos de espera.

En este estudio hacemos una mejora al enfoque propuesto por Ibarra-Rojas y Muñoz. (2016), al considerar una función objetivo basada en el tiempo de espera promedio. En particular, diseñamos una formulación matemática usando variables indexadas en tiempo, lo que nos permite definir una aproximación lineal del tiempo de espera promedio. Dicha formulación es una de nuestras mayores contribuciones, ya que comúnmente, el tiempo de espera promedio se representa con funciones cuadráticas que llevan a garantizar, a lo más, optimalidad local en las soluciones obtenidas (ver review de Ibarra-Rojas et al., 2015). Además, dicha aproximación puede aplicarse a otros problemas de planificación de transporte que también consideren el tiempo de espera como medida de desempeño y tablas de horarios con tiempos de despacho discretos (por ejemplo en control en tiempo real o integración de diseño de horarios con problemas de cálculo de frecuencia). Se implementa un solver comercial para resolver instancias generadas aleatoriamente, y resultados numéricos muestran que es posible resolver a instancias de un corredor con 7 líneas y 20 paraderos potenciales de sincronización. Finalmente, se propone un algoritmo genético sesgado de llaves aleatorias (BRKGA, por sus siglas en inglés) a fin de encontrar soluciones de buena calidad en instancias grandes.

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.
- O.J. Ibarra-Rojas y Y.A. Rios-Solis. Synchronization of bus timetabling *Transportation Research B*, 46:599–614, 2012.

Simulación de escenarios para el rescate de un sistema de pensiones en una universidad pública

Marco A. Montufar Benítez*, Octavio Castillo Estrada y Uriel Borges Hernández
 Área Académica de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Autónoma de Estado de Hidalgo

* Correo electrónico: montufar@uaeh.edu.mx

Resumen

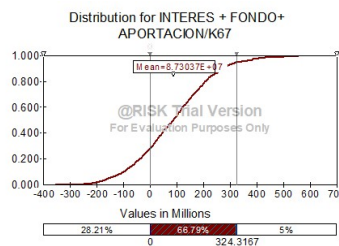
Se presenta un modelo de simulación realizado en Excel y @risk para estudiar el comportamiento de los fondos monetarios que tendrá un sistema de pensión en un horizonte de planeación de 10 años. En particular se consideran como variables de entrada: dos tipos de personas que aportan y reciben fondos al sistema de pensión, la cantidad inicial de dinero en el fondo, tasas de crecimiento del número de pensionados, la tasa de interés que se paga en el fondo de pensión, y las cuotas de aportación de cada tipo de empleado. Se presentan los resultados combinados de tres escenarios importantes cuando: (1) el fondo se queda sin aportaciones federales y estatales, (2) las cuotas de pensión solo se pagan con los intereses generados, y (3) la aportación que hace cada trabajador se incrementa gradualmente para alcanzar una mejor pensión.

Es la actualidad el problema que enfrentan los sistemas de pensión, sobre todo por la falta de capital para el pago de pensiones ha tomado vital importancia (Wang et. al, 2016). Se ha comentado que muy pronto el país será habitado en su mayoría por gente adulta y sin recursos monetarios para tener una calidad de vida aceptable. De esto resulta evidente la importancia de contar con una herramienta que nos permita experimentar con todos los elementos puestos a funcionar en conjunto, para así determinar las políticas a las que se debería sujetar el sistema de pensión para lograr hacer frente a los factores que pudieran desestabilizar el sistema dejándolo sin fondos o con fondos insuficientes.

La simulación es una técnica que imita el comportamiento de un sistema del mundo real, cuando este evoluciona en el tiempo a través de relaciones complejas entre sus elementos. Se basa en un muestreo aleatorio, la salida de la simulación está sujeta a variaciones aleatorias y debe ser examinada utilizando pruebas de inferencia estadística (Albright et. al, 2003; Evans y Olson, 1998; Winston y Albright, 2017).

En nuestro modelo, las principales características son que la población de jubilados se ve afectada por la tasa de nuevos jubilados, así como la tasa de mortalidad de los jubilados actuales. La cantidad que recibe cada jubilado está en función de los años trabajados en la institución y de su edad. Los fondos monetarios de ven afectados las aportaciones federales y estatales, así como por las aportaciones de los empleados y los montos de las pensiones.

Las simulaciones de los escenarios se hicieron con 1000 réplicas cada una para obtener intervalos de confianza de la cantidad recibida por los pensionados, además se calcularon las distribuciones de probabilidad de la cantidad total en el fondo de pensión al final del periodo de planeación como la mostrada en la figura



La simulación de los tres escenarios nos mostró que cuando el sistema está sujeto a políticas poco robustas existe una alta probabilidad de que se quede sin fondos, la política óptima de las tres que se propusieron fue la que hace una aportación proporcional al incremento en salario. La etapa siguiente en nuestro estudio será adecuar el modelo a condiciones más reales validadas por los interesados.

Referencias

- Hong Wang, Bonsoo Koo y Colin O'Hare. Retirement planning in the light of changing demographics *Economic Modelling*, 52 (3): 749—763, 2016.
- Albright S. Christian, Wayne L. Winston and Christopher Zappe, *Data Analysis & Decision Making With Microsoft Excel*. Second Edition, 2003
- Evans, J.R. and D.L. Olson, *Introduction to Simulation and Risk Analysis*. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ; 1998.
- Winston, W. L. and S.C. Albright, *Practical Management Science, Spreadsheet Modeling And Applications* Duxbury, Belmont, CA; 2017.

Problema multi-objetivo de localización de instalaciones considerando indicadores de accesibilidad

Katia I. Herrera-Garza,* y Omar J. Ibarra-Rojas

Universidad Autónoma de Nuevo León

* Correo electrónico: kattiv.g@hotmail.com

Resumen

El concepto de accesibilidad se relaciona con la asignación apropiada de más y mejores oportunidades para satisfacer una demanda o proporcionar un servicio, lo cual es relevante en procesos de distribución no comerciales como proveer servicios sociales y ayuda humanitaria (de la Torre et al., 2012). Sin embargo, no existe una métrica de accesibilidad general, pues depende del contexto del estudio, es decir, las medidas de accesibilidad suelen considerar diferentes elementos/indicadores dependiendo del contexto utilizado. En este estudio adaptamos la medida de accesibilidad propuesta por Ibarra-Rojas et al. (2018) a un problema de localización de instalaciones considerando instalaciones sin capacidad, demanda unitaria y radios de cobertura y movilidad para las instalaciones y los puntos de demanda, respectivamente. La medida de accesibilidad propuesta se define como la suma ponderada de los siguientes seis indicadores: (i) el número de zonas con acceso a oportunidades para obtener su demanda/servicio; (ii) el número de zonas cubiertas; (iii) el costo de movilidad; (iv) la distancia a la oportunidad más cercana; (v) el número de oportunidades; y (vi) la desagregación geográfica.

Se propone una programa entero mixto lineal para representar el problema de optimización. Experimentación preliminar muestra que es posible resolver instancias grandes—de hasta 4000 puntos de demanda y 500 locaciones—mediante el uso de solver comercial. La Figura 1 muestra soluciones óptimas ante dos combinaciones de valores para las ponderaciones de los indicadores de accesibilidad. Los cuadrados representan los puntos de las locaciones (abiertos en color verde y cerrados en color negro), los círculos ilustran los puntos de demanda (cubiertos por cercanía a plantas abiertas en color morado, no cubiertos pero con acceso en color rosa y sin acceso en color rojo), y los arcos las oportunidades para puntos no cubiertos. Como se puede apreciar, existen diferencias en las soluciones al variar las ponderaciones de la función objetivo, es decir, conflicto entre los indicadores de accesibilidad. Por ejemplo, la solución del lado izquierdo en comparación con la solución del lado derecho muestra un menor número de zonas sin accesibilidad pero una menor cantidad de oportunidades para los puntos con acceso.

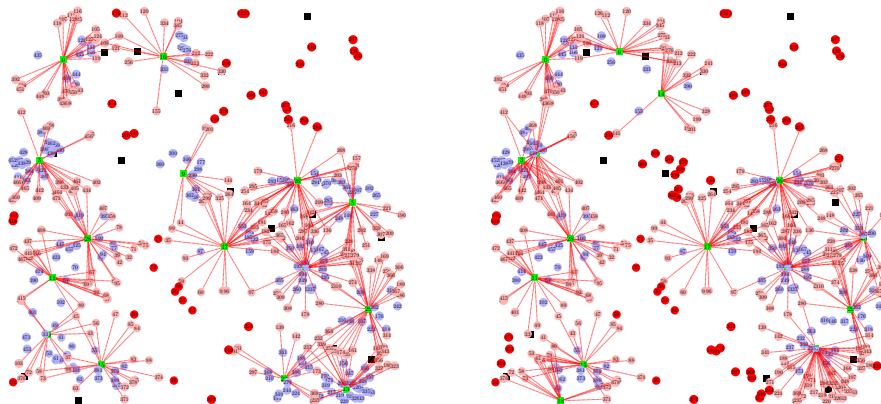


Figura 1: Soluciones óptimas ante dos combinaciones de valores para las ponderaciones de los indicadores de accesibilidad.

Debido a lo anterior, hacemos una variación de los pesos de la función objetivo para analizar el potencial conflicto entre los diferentes indicadores de la medida de accesibilidad. Se presentan resultados numéricos para instancias basadas en los datos de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Referencias

- O.J. Ibarra-Rojas, L. Hernandez y L. Ozuna. 2018. The Accessibility Vehicle Routing Problem. *Journal of Cleaner Production*, 172: 1514–1528.
- de la Torre, L.E., Dolinskaya, I.S., Smilowitz, K.R. 2012. Disaster relief routing: Integrating research and practice. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46:88–97.
- Geurs, K., van Wee, B. 2004. Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. *Journal of Transport Geography* 12:127–140.

81

Optimización de la producción animal para la caprinocultura en México

Jesús Salinas Jiménez* y Esther Segura Pérez

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México

* Correo electrónico: ingenio.sa.sa@gmail.com

Resumen

Se diseñó, analizó y optimizó un modelo para la producción animal caprina (caprinocultura) en México. Se muestra que modelos de otros países como Francia, España y en general en Europa han logrado casos de caprinocultura exitosos en cuanto a la obtención de leche se refiere. En México existen 494,000 unidades de producción caprina y 1.5 millones de mexicanos dedicándose a esta industria que descansa en el autoconsumo de carne con una demanda satisfecha de 43,000 toneladas por año, disponiendo de 8.6 millones de cabras las cuales en producción lechera registran en promedio 19 [kg de leche/cabra], mientras que en Francia con 1.26 millones de animales se producen 494 [kg de leche/cabra al año], la baja productividad representa una actividad económica endeble y deficiente en sus métodos de producción y comercialización, tanto en lo práctico como en el desarrollo de investigación analítica de la producción fuera de la zootecnia y veterinaria, repercutiendo actualmente con la prohibición de la exportación de cabras mexicanas a ciertas partes de Europa, el desaprovechamiento de fuentes de empleo y oportunidades de mercado latentes. En este proyecto se proponen y optimizan cuatro actividades básicas de la caprinocultura en México, a saber: la optimización de inventarios, la estimación de la producción de leche, sincronización de la demanda y diseño de los procesos genéricos para la generación de políticas de funciones de cada unidad productiva. Se obtuvo una cantidad a ordenar $EOQ=4,778$ [kg], con un tiempo de reabastecimiento de $T=32.12$ [días] ante una demanda $D=54,750$ [kg/año]. Para la reproducción de animales se propone una función novedosa obteniéndose que se deben reproducir de 18 a 19 [animales] en el mes de diciembre para producir $p(t) = 21716.4$ [l/año] de leche. En producción de leche se analizó la calidad en cuanto a los volúmenes, para una muestra de 20 animales, se obtuvieron los límites de control $UCLx = 2.14726$ [l], $CL = 2.024$ [l], $ICLx = 1.9015$ [l] para formular parámetros de decisión, en una sola etapa de producción lo que significa para este caso, que aquellas tres muestras que excedieron $UCLx$, son animales con un aumento de producción, lo que los convierte en candidatos para la reproducción en mejoramiento genético. Operativamente se obtuvieron cinco procesos genéricos que componen el modelo en cuanto a producción de leche, reproducción, mejoramiento genético, medicina preventiva y alimentación.

83

Un modelo bi-objetivo entero mixto para un problema de reordenamiento de congregaciones religiosas: Aguascalientes, un estudio de caso.

Víctor Macedo Becerril*, Salvador Vicencio y Jonás Velasco Álvarez
Maestría en Modelación y Optimización de Procesos, CIMAT, Aguascalientes.

*Correo electrónico: victor.macedo@cimat.mx

Resumen

Ante el crecimiento poblacional que ha tenido en los últimos años el estado de Aguascalientes, varios grupos de personas, miembros de una congregación religiosa, se han exentendido y, por consiguiente, los centros de reunión de dichas congregaciones han quedado desproporcionados. Para resolver dicha problemática, el presente trabajo aborda un problema de reordenamiento de congregaciones religiosas. Este problema consiste en asignar un número determinado de miembros de la congregación (familias) a una cantidad determinada de centros de reunión, en la ciudad de Aguascalientes. Los centros de reunión son lugares físicos donde los miembros de la comunidad realizan o practican ciertas actividades religiosas. Cabe mencionar que, en este problema, los centros de reunión ya están dados. Para llevar a cabo la asignación de los miembros de la congregación a los centros de reunión, se requiere cumplir con dos restricciones. La primera, es que se deben formar comunidades del mismo tamaño (congregaciones balanceadas) y, que en cada centro de reunión, se asigne un número mínimo de miembros "influyentes". Los miembros "influyentes" son las familias o personas que dirigen y dan seguimiento a los miembros de su misma comunidad (centro de reunión). El problema es modelado matemáticamente como un modelo lineal entero mixto con dos objetivos, donde el objetivo principal es minimizar las distancias entre los domicilios de las familias y los domicilios de los centros de reunión al que fueron asignados. Como segundo objetivo, se plantea minimizar las distancias entre los domicilios de las familias asignadas a un mismo centro, es decir, minimizar la dispersión entre los hogares de una misma congregación.

En esta charla, se presentará el modelo lineal entero mixto propuesto, así como las soluciones óptimas obtenidas con CPLEX 12.8 sobre las instancias reales. Por último, de manera similar, se propone y se presenta una estrategia de solución basada en computación evolutiva para abordar instancias de mayor tamaño, generadas artificialmente a partir de la información real del estudio de caso.

84

Utilización de herramienta estadística multivariada para determinar el impacto de la Cadena de Suministro verde en las empresas mexicanas

Lic. Gisela Aguilar Dorantes^{1*} Dr. Tomás E. Salais Fierro¹

¹Posgrado en Logística y Cadena de Suministro,

Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolas de los Garza, Nuevo León.

* Correo electrónico: gisela.aguilardr@uanl.edu.mx

Resumen

Con la llegada inminente de la globalización que ha cambiado de forma dramática como funciona el mundo; en específico el comercio internacional de bienes y servicios en las últimas décadas. La cadena de suministro no es una excepción a esta revolución, tanto a nivel global como local. Dicha transformación también ha generado otro tipo de problemas, tal como la contaminación medioambiental, siendo uno de los problemas más relevantes en la época actual. De acuerdo con la firma McKinsey & Company, detectaron que entre el 40 y el 60 por ciento de la huella de carbono se encuentra en la cadena de suministro tanto del sector manufacturero como de las compañías de alta tecnología. Dicho porcentaje incrementa cuando se trata del sector minorista hasta el 80 por ciento, (Brickman y Ungerman, 2008).

Para contrastar el impacto que ha generado la cadena de suministro, han surgido una variedad de alternativas para ayudar a mitigar dicha afectación; tal como es el caso de la cadena de suministro verde. Una definición muy específica de la cadena de suministro verde (Green Supply Chain Management en inglés) podría resumirse como "La adición del abastecimiento verde, manufactura y administración de los materiales verde, marketing y distribución verde, así como logística inversa" (Zhu y Sarkis, 2006). Para la implementación exitosa de la cadena de suministro verde, será de suma importancia estudiar y definir cuáles son las actividades relacionadas a dicha disciplina; también conocidas como prácticas verdes.

El objetivo de la investigación es definir cuál es el impacto de dichas prácticas verdes y la implementación de la cadena de suministro verde en las empresas a nivel nacional. A través de una encuesta, se tomará una muestra aleatoria estratificada con personas que forman parte de la industria manufacturera sobre las prácticas verdes existentes y cuál es la postura de sus organizaciones con respecto a la implementación de las mismas.

Una vez obtenidos los datos, se procederá a realizar una Modelación de Ecuación Estructural (Structural Equation Modelling en inglés), que es una herramienta estadística multivariada que nació en los años setentas que permite análisis simultáneos de series de relaciones de dependencia directa y/o indirecta entre variables independientes y dependientes, esto de acuerdo con diversos autores (Garson, 2012b; Groenland y Stalpers, 2012; Hair, Black, Babin y Anderson, 2010; Ho, 2006; Tabachnick y Fidell, 2007) (Zainol, 2016). Se busca que dicha herramienta ayude primordialmente a otorgar el nivel de correlación de las prácticas verdes con el desempeño operativo, económico y ambiental de las empresas. A su vez, se espera que los resultados de la investigación otorguen un escenario sobre qué tipo de estrategias se pueden implementar en áreas de oportunidad para la implementación de la cadena de suministro verde en empresas mexicanas.

Se busca a su vez demostrar la relevancia de comenzar a hacer una transición hacia una cadena de suministro que tenga como función obtener esa rentabilidad tan deseada por parte de las empresas y que simultáneamente puedan ser amigables con el medio ambiente.

Referencias

- Brickman, C., & Ungerman, D. Climate Change and Supply Chain Management. *The McKinsey Quarterly*, 53(1):2008.
- Zhu, Q., Sarkis, J., *An inter-sectoral comparison of green supply chain management in China: drivers and practices*. Journal of Cleaner Production, 2016. 14, 472-486.
- Zuraidah, Zainol Structural Equation Modeling (SEM): A step by step approach (Part 1). *Faculty of Management & Economics, Universiti Pendidikan Sultan Idris*, 61(12):2016.

91

Casos donde es posible relajar un conjunto de variables binarias en un MIP

Oliver Avalos Rosales,* y Yajaira Cardona Valdés

¹Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas,
Universidad Autónoma de Coahuila

* Correo electrónico: aoliver84@gmail.com

Resumen

Actualmente, los modelos matemáticos con variables binarias son usados en gran variedad de problemas. Estos usualmente son la base para el desarrollo de métodos exactos como ramificación y acotamiento, generación de columnas, relajaciones lagrangeanas, entre otros. Además las soluciones obtenidas de ellos también suelen ser usadas para evaluar la calidad de algoritmos heurísticos y metaheurísticos en instancias de tamaño pequeño. Mientras mejor sea el modelo matemático, mayor será el tamaño de instancias que pueda resolver, posiblemente se implementarán métodos exactos con mayor alcance y se ofrecerá un mejor punto de comparación para métodos aproximados. De ahí la importancia de proveer modelos matemáticos con buen desempeño.

En ocasiones nos interesa saber el número de variables binarias en un modelo, ya que esto nos da una idea de que tanto se puede tardar en resolver dicho modelo en relación a otros modelos similares para el mismo problema. Esto nos lleva a pensar que reducir el número de variables binarias puede impactar en el desempeño del modelo.

En esta plática queremos ejemplificar dos situaciones frecuentes donde se tienen al menos dos conjuntos de variables binarias y es posible relajar las variables de uno de estos conjuntos. Supongamos que se cuenta con dos conjuntos de variables $x's$ y $y's$, donde el número de variables $x's$ es menor que el número de variables $y's$, ambas en principio consideradas binarias, las dos situaciones que mostraremos son las siguientes:

1. Si las $y's$ son binarias y se relacionan de acuerdo a las ecuaciones (1) y (2), es posible relajar las $x's$ y solo restringirlas a ser mayor que cero.
2. Si las $x's$ son consideradas binarias y las restricciones tienen una estructura especial, es posible relajar las $y's$.

Estas situaciones no son exclusivas, puede darse solo una, o las dos, o incluso aplicarse dos veces la primera para relacionar tres conjuntos de variables donde dos de ellos se pueden relajar (Avalos-Rosales et al., 2015; Gouveia and Vofß, 1995; Angel-Bello et al., 2013).

El primer caso es el más frecuente y surge al considerar que si una variable x cumple dos condiciones: i) $0 \leq x \leq 1$ y ii) x es entera, entonces x es binaria. Las restricciones que usualmente relacionan las $x's$ con las $y's$ tienen la siguiente forma

$$\sum_i x_i \leq 1 \quad (1)$$

$$x_i = \sum_j y_j \quad \forall i \quad (2)$$

Dado que todas las x_i son mayores que cero, de la ecuación (1) se deriva la primera condición ($0 \leq x_i \leq 1$). Dado que todas las y_i son binarias, la suma del lado derecho de la ecuación 2 da solo valores enteros, por lo que x_i debe ser entera. De ahí que x_i solo tomará valores binarios.

La pregunta es ¿considerar un conjunto de variables como binarias o como reales afectará el desempeño del modelo? En un algoritmo de ramificación y acotamiento, la clave parece estar en el proceso de ramificación, ya que al relajar un conjunto de variables, la ramificación se restringe a las variables que no fueron relajadas. Para responder a la pregunta resolvemos diferentes modelos de la literatura en problemas de secuenciación y de mínima latencia donde se presentan dichas situaciones.

Referencias

- Francisco Angel-Bello, Ada Alvarez, and Irma García. Two improved formulations for the minimum latency problem. *Applied Mathematical Modelling*, 37(4):2257–2266, 2013.
- Oliver Avalos-Rosales, Francisco Angel-Bello, and Ada Alvarez. Efficient metaheuristic algorithm and re-formulations for the unrelated parallel machine scheduling problem with sequence and machine-dependent setup times. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76(9-12):1705–1718, 2015.
- Luis Gouveia and Stefan Vofß. A classification of formulations for the (time-dependent) traveling salesman problem. *European Journal of Operational Research*, 83(1):69–82, 1995.

Designing an adaptive local search for a genetic algorithm applied to water distribution

Oswaldo Alvarado, Bruno Castro, Luis González*,
Gilberto Rivera, Jorge Rodas, Patricia Sánchez

* Correo electrónico: al171493@alumnos.uacj.mx

Laboratorio Nacional de Tecnologías de la Información (LaNTI) /
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ)

Abstract

Nowadays, urban areas are composed of logistic networks that form a compact and complex entity, whose integration has a meaningful impact on the sustainability of the urban system. Currently, there are several methods for the optimization of these networks, mainly focused on the transport of products and people: TSP (Traveling Salesman Problem), CPP (Chinese Postman Problem) and VRP (Vehicle Routing Problem). These three models involve routes for one or more vehicles to visit all destinations. The characteristics taken into consideration when designing these routes are (1) the dimensions of the vehicle, (2) the permitted load, and (3) the distance from each point to the origin. The VRP is widely studied by logistics agencies, where finding the shortest route means significant profits.

Concerning social policy, water distribution is a priority problem. Especially in desertic cities without sufficient hydrological resources. This critical issue can be mitigated via a more efficient distribution of water through VRP models.

Genetic Algorithms (GAs) are a popular way to find acceptable solutions to VRP. These algorithms create a set of possible solutions for a given problem and evolve them to find a high-quality solution. Hybrid GAs often have local searches as an essential aspect that grants a better level of optimization. Local searches can minimize the runtime and the number of vehicles when solving instances of VRP, by strengthening intensification into GAs. In this study, three algorithms for local search are compared: (1) Tabu search (Wang et al., 2017), (2) a dynamic programming technique (Novoa and Storer, 2009), and (3) a multi-start local search based on cross exchanges (Bräysy et al., 2004). For this analysis, we are considering two groups of instances: (a) synthetic problems taken from the well-known benchmark of OR Library for the Single-Depot Capacitated VRP, and (b) a real-world case study of water distribution from the Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Cd. Juárez.

The findings are applied to define a method for achieving better routes using a new local search approach that is dynamically adaptable to the features of the problem and the current population. The results are encouraging, considering runtime and fitness in comparison with the state-of-the-art algorithms.

References

- J. Wang, A.K. Ranganathan, X. Zuo, C. C. Murray (2017). *Two-layer simulated annealing and tabu search heuristics for a vehicle routing problem with cross docks and split deliveries*. Computers & Industrial Engineering, 112:84-89, 2017.
- C. Novoa & R. Storer (2009). *An approximate dynamic programming approach for the vehicle routing problem with stochastic demands*. European Journal of Operational Research, 196(2):509-515, 2009.
- O. Bräysy, G. Hasle, W. Dullaert (2004). *A multi-start local search algorithm for the vehicle routing problem with time windows*. European Journal of Operational Research, 159(3):586-605, 2004.

Diseño de una red de distribución mediante el problema de enrutamiento de vehículos capacitados selectivos para una empresa de producción de reactivos químicos en México.

Guillermo A. Piloto Cuellar*, José Luis Martínez Flores,
Santiago O. Caballero Morales y Diana Sánchez Partida
Posgrado de Logística y Dirección de la Cadena de Suministro,
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

*Correo electrónico: guillermoairam.piloto@upaep.edu.mx

Resumen

En las últimas décadas se ha prestado especial atención al campo logístico, dentro del cual uno de los aspectos de mayor interés es el diseño de redes de distribución más eficientes. Este tema ha sido ampliamente tratado en la literatura, se han desarrollado algoritmos exactos y aproximados, estos últimos han sido elaborados debido a la alta complejidad computacional de estos problemas a gran escala. En este trabajo se aborda un Problema de Enrutamiento de Vehículos Capacitados Selectivo (SCVRP, por sus siglas en inglés) para un único depósito y una flota heterogénea, como aplicación real en una empresa de producción de reactivos químicos en México. En tal sentido, su objetivo consiste en la minimización de los costos, teniendo en cuenta la capacidad de toma de decisión por parte de los clientes para la selección del vehículo que les brinda servicio. Se realiza un análisis respecto a los resultados obtenidos para el modelo tradicional del problema de enrutamiento de vehículos capacitados (CVRP, por sus siglas en inglés) con respecto al SCVRP propuesto. Los resultados de ambos métodos se obtienen mediante la aplicación del Algoritmo de Branch and Bound; observándose una reestructuración en las rutas debido a las exigencias de los clientes conllevando esto a un aumento en la distancia total recorrida por los vehículos.

Desarrollo de un Modelo de Simulación para los Resultados Preliminares de una Elección

David F. Muñoz,^{1*} Héctor Gardida,² Hugo Velázquez,² y Jorge D. Ayala¹

¹Dpto. de Ingeniería Industrial y Operaciones, Instituto Tecnológico Autónomo de México, CdeM

²Unidad Técnica de Servicios de Informática, Instituto Nacional Electoral, CdeM

* Correo electrónico: davidm@itam.mx

Resumen

Como se discute en la mayoría de libros sobre Administración de Operaciones (por ejemplo, Muñoz, 2017), el tiempo de respuesta de un proceso de negocios tiene una gran importancia para la competitividad del negocio, ya que los tiempos de respuesta cortos permiten que el cliente pueda satisfacer con prontitud las necesidades que dicho proceso busca satisfacer. En particular, el logro de un mayor porcentaje de actas, publicadas por corte, durante el Programa de Resultados Electorales Preliminares (PREP) de una elección, es uno de los objetivos más importantes de un PREP, ya que una mayor rapidez en la publicación de los resultados de las elecciones es indicador de una mayor transparencia y, en consecuencia, genera una mayor confianza de los electores en los resultados oficiales de las mismas.

En las elecciones de la mayoría de los países, el PREP es un proceso laborioso, que requiere de la participación, no sólo de los ciudadanos responsables del escrutinio y registro de las actas, sino también de un gran número de trabajadores del Instituto Electoral (IE) correspondiente, siendo que muchos de dichos trabajadores son contratados temporalmente, para el ejercicio de sus funciones específicas dentro del periodo en el que se conduce el proceso técnico operativo (capacitación, simulacros y ejecución) del PREP correspondiente. La cantidad de recursos que el IE asigne a cada una de las actividades del PREP, así como las características específicas del proceso, como son, por ejemplo, el número de actas por casilla, los medios utilizados para la transmisión de la información, y los tiempos de traslado de las actas a los centros de acopio, son los factores que determinan la prontitud con la que los medios de difusión serán capaces de presentar los resultados del PREP para el conocimiento de los electores.

Con el propósito de planear adecuadamente la programación y asignación de recursos humanos y tecnológicos, es conveniente que el IE correspondiente realice ejercicios para pronosticar el desempeño de un PREP, con base en el presupuesto y en los recursos asignados para dicho PREP. Las variables de desempeño a pronosticar en un PREP son, fundamentalmente, los porcentajes de actas cuyos resultados estarán publicados, por cada corte del PREP. Debido a que un PREP es un proceso de producción que incluye diferentes actividades, por ejemplo, el escrutinio, el acopio, la digitalización, la captura y la publicación de actas, para el pronóstico del desempeño del PREP se pueden utilizar tanto técnicas para la determinación del tiempo teórico de flujo (ver, por ejemplo, el capítulo 5 de Muñoz, 2017) en un proceso productivo, como técnicas de pronóstico basadas en la simulación del proceso productivo (ver, por ejemplo, Benedettini y Tjahjono, 2009).

La planeación y ejecución de los PREP en México es responsabilidad de la Unidad Técnica de Servicios de Informática (UNICOM) del Instituto Nacional Electoral que, hasta el año 2017 realizaba sus pronósticos de desempeño de los PREP con base en análisis teóricos y modelos de simulación limitados por las capacidades de una hoja de cálculo (ver, por ejemplo, el capítulo 15 de Romero et al., 2015). Sin embargo, para las elecciones del 2018 en México, la UNICOM ha desarrollado un modelo muy detallado para el pronóstico del PREP, con base en simulación, utilizando el software Simio (ver Smith et al., 2017). En este artículo se reporta tanto el desarrollo como el desempeño del modelo de simulación como herramienta de pronóstico. Se proporcionan detalles sobre los pasos seguidos en la construcción del modelo, como son el análisis de la entrada, la construcción y la verificación del modelo, y el análisis de las salidas para producir los pronósticos basados en simulación.

Referencias

- O. Benedettini y B. Tjahjono. Towards an improved tool to facilitate simulation modelling of complex manufacturing system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 43(1-2):191–199, 2009.
- D.F. Muñoz. *Administración de Operaciones*. Alfaomega, 2017. ISBN 9786076228845.
- S. Romero, O. Romero y D.F. Muñoz. *Introducción a la Ingeniería (2a Ed.)*. Cengage, 2015. ISBN 9786075195421.
- J.S. Smith, D.T. Sturrock y W.D. Kelton. *Simio and Simulation: Modeling, Analysis and Applications (4a Ed.)*. Simio LLC, 2017. ISBN 9781542933117.

Índice de Autores

Ada Álvarez Socarrás, 40, 42
Adolfo Escobedo, 14
Adrián Macías López, 65
Adrian Ramírez Nafarrate, 44
Alejandro Andrade Michel, 41
Alejandro Castillo, 22
Alfonso Angel Medina Santana, 31
Alma M. Romero Serrano, 61
Alvaro Eduardo Cordero Franco, 60
Antonio Martínez Sykora, 21, 36
Arturo Berrones Santos, 54
Azcarie M. Cabrera Cuevas, 50

Beatriz A. García Ramos, 19
Beatriz A. Jiménez López, 35
Belén Melián Batista, 42

Carlos Alegría Galicia, 36
Carlos Lamas Fernández, 21
Christopher Lourenco, 14
Citlali Maryuri Olvera Toscano, 18, 20
Cristina Maya Padrón, 57

Daniela Román Echevarría, 24
David F. Muñoz Negrón, 76
David Romero Vargas, 45
Deisemara Ferreira, 39
Diana Sánchez Partida, 75
Diego Ruíz Hernández, 63
Dolores Edwiges Luna, 53, 62

Edgar Possani Espinosa, 12
Edith Lucero Ozuna Espinosa, 26, 35, 38, 56
Eduardo Valdés, 32
Efraín Ruíz y Ruíz, 49
Elías Olivarez Benítez, 47
Elena Cristina Villanueva Guerra, 60
Eli Angela, 39
Elizabeth Serrano Ramírez, 43
Erick Moreno Centeno, 14
Esteban Ogazón González, 27
Esther Segura Pérez, 70

Federico Hernández Álvarez, 25
Flor Guerrero, 23
Francisco Ángel-Bello Acosta, 40, 42
Francisco G. Meza Fierro, 18

Gilberto Rivera Zárate, 74
Gisela Aguilar Dorantes, 72
Giselle Naranjo Vázquez, 56

Gregorio Ángeles Pérez, 43
Guillermo A. Piloto Cuellar, 75

Héctor Gardida, 76
Héctor M. De los Santos Posadas, 43
Héctor S. Maravillo Gómez, 64
Heriberto Salazar Soto, 52
Homero A. Zapata Chavira, 28
Hugo Velázquez, 76

Iris A. Martínez Salazar, 59

J. René Valdez Lazalde, 43
Jacobo B. Duez Berra, 53
Jaime A. Gómez Vilchis, 25
Jania A. Saucedo Martínez, 17, 24, 50
Javier Ramírez, 51
Jesús Salinas Jiménez, 70
Jessica L. Salazar Norato, 26
Johana Bolaños Zuñiga, 17
Jonás Velasco Álvarez, 54, 66, 71
Jorge D. Ayala, 76
Jorge Raúl Pérez Gallardo, 58
José Fernando Camacho Vallejo, 62–64
José Luis González Velarde, 34
José Luis Martínez Flores, 75
José Luis Montes, 22
Jose Luis Figueroa González, 45
Juan A. Cedillo Robles, 37
Juan Antonio Díaz García, 16, 53, 62, 63
Juan Banda Moreno, 54
Juan Bruno Castro Carrillo, 74
Juan C. García Vélez, 63
Juan Carlos López Leyva, 48, 61
Juan García, 67
Juan José Ortiz Servín, 22
Juan Pablo Ortiz Rodríguez, 12
Julia A. Bennell, 21, 36
Julia Patricia Sánchez Solís, 74
Justo Puerto, 64

Katia I. Herrera Garza, 69

Leopoldo Eduardo Cárdenas Barrón, 31
Lilia Barrón, 38
Luis D. Priego Cabrera, 30
Luis E. Urbán Rivero, 51
Luis Ignacio Román, 25
Luis Reynaldo González García, 74

Ma. del Rocío Castillo Estrada, 15

María Amparo León, [23](#)
 María Angélica Salazar Aguilar, [33](#)
 María G. Sandoval Esquivel, [16](#)
 Marco A. Montufar Benítez, [68](#)
 Marco E. Gómez Camarillo, [15](#)
 Mario C. López Lóces, [34](#)
 Mario Eduardo Marín Limón, [58](#)
 Marta Cabo Nodar, [21](#), [36](#)
 Martine Labbé, [64](#)
 Mayra Alejandra Luna Peña, [40](#)
 Michel A. Herrera Medrano, [28](#)
 Miguel Mata Pérez, [29](#), [30](#)

 Nancy M. Arratia Martínez, [55](#)
 Nancy Y. Amador Molina, [29](#)
 Neale R. Smith Cornejo, [27](#), [37](#)
 Nelly Montserray Hernández González, [55](#)

 Octavio Castillo, [68](#)
 Oliver Avalos Rosales, [73](#)
 Omar Ahumada Valenzuela, [61](#)
 Omar Ibarra Rojas, [35](#), [39](#), [46](#), [67](#), [69](#)
 Oscar A. Aguirre Calderón, [34](#)
 Oscar Villanueva, [32](#)
 Osvaldo Alvarado Amaya, [74](#)
 Ozgur M. Araz, [44](#)

 Pamela J. Palomo Martínez, [33](#)
 Pavel A. Álvarez Carrillo, [48](#)
 Pavel López Parra, [48](#)
 Pedro I. Loera Martínez, [59](#)

 Raúl Perusquia, [22](#)
 Rafael Caballero, [23](#)
 Rafael López Bracho, [51](#)
 Rodrigo Palacios, [32](#)
 Roger Z. Ríos Mercado, [16](#), [28](#), [34](#)
 Román Anselmo Mora Gutiérrez, [43](#)
 Romeo Sánchez Nigenda, [57](#)

 Saúl Domínguez Casasola, [52](#)
 Salvador Vicencio, [66](#), [71](#)
 Samuel Nucamendi Guillén, [47](#)
 Santiago Omar Caballero Morales, [75](#)
 Sarahí B. Báez Viezca, [42](#)
 Sommer E. Gentry, [28](#)

 Timothy Davis, [14](#)
 Tomás Eloy Salais Fierro, [72](#)

 Uriel Hernández Borges, [68](#)

 Víctor E. Pérez León, [23](#)
 Víctor Gustavo Tercero Gómez, [65](#)
 Víctor Macedo Becerril, [66](#), [71](#)
 Víctor Tercero Gómez, [60](#)
 Vincent Boyer, [41](#)
 Vitor Toso, [39](#)

 Ximena D. Medrano Gómez, [39](#)

 Yadira Isabel Silva Soto, [46](#)
 Yajaira Cardona Valdés, [73](#)
 Yasmín A. Ríos Solís, [18-20](#), [41](#)

HORARIOS

MIÉRCOLES 17

		Sala 1	Sala 2	Sala 4
BLOQUE A	16:00 - 16:20	45 Diseño de una red de servicio con relajación de restricciones. Adrián Ramírez-Nafarrate, Ozgur M. Araz. UP, Zapopan, Jalisco. Universidad de Nebraska-Lincoln.	26 Técnicas de optimización y control de inventarios para mejorar la colocación de pedidos con tiempos de espera largos. Nancy Yoana Amador Molina, Miguel Mata. UANL.	60 Localización de puntos de emergencia considerando medidas de accesibilidad. Giselle Naranjo Vázquez, Lucero Ozuna. UANL.
	16:20 - 16:40	58 Constrained Quadratic 0/1 Optimization from a mean-field spin glass perspective. Arturo Berrones Santos, Jonás Velasco, Juan Banda. UANL.	9 Comparación de cuatro medidas de dispersión para un problema de diseño territorial. María Gabriela Sandoval, Juan A Díaz, Roger Z. Ríos Mercado. UDLAP, UANL.	31 Cosecha sostenible de un bosque homogéneo empleando programación dinámica con modelos de crecimiento forestal. Mario C. López Locés, Roger Z. Ríos Mercado, Oscar A. Aguirre Calderón, José L. González Velarde. UANL, ITESM.
	16:40 - 17:00	71 Un algoritmo de ramificación y acotamiento para resolver un problema binivel de cierre de instalaciones competitivas. Juan Carlos García Vélez, J. Fernando Camacho Vallejo, Juan A Díaz, Diego Ruiz Hernández. UANL, UDALP.	32 Problema de localización de instalaciones en respuesta a situaciones de emergencia considerando indicadores de accesibilidad. Beatriz Alejandra Jiménez López, Edith Lucero Ozuna Espinosa, Omar Ibarra Rojas. UANL.	24 Estudio computacional sobre la implementación de un programa de trasplante renal cruzado en México. Michel A. Herrera Medrano, Roger Z. Ríos Mercado, Sommer E. Gentry, Homero A. Zapata Chavira. UANL, Johns Hopkins University.
	17:00 - 17:20	91 Casos donde es posible relajar un conjunto de variables binarias en un MIP. Oliver Avalos Rosales, Yajaira Cardona Valdés. UAdeC.	27 Optimización en la asignación de aeronaves para rutas aéreas comerciales. Luis Priego, Miguel Mata. UANL.	15 Un problema de empaquetamiento irregular arqueológico. Marta Cabo, Julia Bennell, Carlos Lamas Fernández, Antonio Martínez-Sykora. ITAM, University of Southampton.
	17:20 - 17:40	FOTOGRAFÍA GRUPAL		

JUEVES 18

		Sala 1	Sala 2	Sala 4
BLOQUE A	9:00 - 9:20	13 Problema de asignación de tiempos en la organización de una línea de ensamble. Beatriz A. García Ramos, Yasmín Agueda Ríos Solís. UANL.	81 Optimización de la producción animal para la caprinocultura en México. Jesús Salinas Jiménez, Esther Segura. UNAM.	84 Utilización de herramienta estadística multivariada para determinar el impacto de la Cadena de Suministro verde en las empresas mexicanas. Gisela Aguilar Dorantes, Tomás Eloy Salais Fierro. UANL.
	9:20 - 9:40	61 Construcción de rutas de aprendizaje mediante modelación matemática y planificación de Inteligencia Artificial. Cristina Maya-Padrón, Romeo Sánchez Nigenda. UP García NL, UANL.	28 Un modelo de inventarios que considera las emisiones de carbono, calidad imperfecta y con faltantes planeados. Alfonso Ángel Medina Santana, Leopoldo Eduardo Cárdenas-Barrón. ITESM.	77 Simulación de escenarios para el rescate de un sistema de pensiones en una Universidad Pública. Marco Antonio Montufar, Octavio Castillo, Uriel Borges. UAEH.
	9:40 - 10:00	39 Re-programación de recursos en transporte urbano. Alejandro Andrade Michel, Yasmín A. Ríos Solís, Vincent. Boyer. UANL	10 Modelo matemático para el acomodo y recolección de productos en zona de selección. Johana Bolaños Zúñiga, Janía A. Sucedo Martínez. UANL.	56 Selección de portafolios de inversión para el retiro a través de un Proceso de Análisis Jerárquico (AHP). Saúl Domínguez Casasola, Heriberto Salazar Soto. CIMAT Aguascalientes, UAA.
	10:00 - 10:20	83 Un modelo bi-objetivo entero mixto para un problema de reordenamiento de congregaciones religiosas: Aguascalientes, un estudio de caso. Víctor Macedo Becerril, Salvador Vicencio, Jonás Velasco. CIMAT, Aguascalientes.	3 La eficiencia en la administración aeroportuaria mexicana. Edgar Possani, Juan Pablo Ortiz Rodríguez. ITAM.	72 Un algoritmo heurístico basado en puntos extremos para resolver un problema binivel aplicado a la regulación de mercado en la industria petroquímica. Héctor Maravillo, J.Fernando Camacho Vallejo, Martine Labbé, Justo Puerto. UANL, Ulb Belgica, US España.
	10:20 - 10:40	47 Cálculo de frecuencias y diseño de horarios para la sincronización de líneas de tránsito con paraderos en común. Yadira Isabel Silva Soto, Omar Jorge Ibarra Rojas. UANL.	43 Modelo de zonificación funcional para la gestión forestal: caso de estudio San Pedro El Alto, Oaxaca. Elizabeth Serrano Ramírez, J. René Valdez Lazalde, Héctor M. De Los Santos Posadas, Román Anselmo Mora Gutiérrez, Gregorio Ángeles Pérez. Colegio de Postgraduados, Edo. México, UAM.	40 Algoritmo metaheurístico híbrido para un problema de secuenciación de máquinas en paralelo con tiempos de preparación dependientes de la secuencia. Sarahí Báez, Francisco Ángel-Bello, Ada Alvarez, Belén Melián-Batista. ITESM, UANL, ULL España.

JUEVES 18

		Sala 1	Sala 2	Sala 4
BLOQUE B	16:00 - 16:20	49 A disaggregation preference method for supporting new product design. Pavel Álvarez, Juan Leyva López, Pavel López Parra. UAdeO.	35 Asignación de horarios en instituciones universitarias. Lilia Barrón, Lucero Ozuna. UANL.	70 Usando un GRASP para determinar el despliegue de unidades policiales. José Fernando Camacho Vallejo, Dolores Edwiges Luna, Juan A Díaz. UANL, UAP.
	16:20 - 16:40	17 Multiple criteria approach for measure Caribbean tourism destinations competitiveness: The Goal Programming Synthetic Index. Víctor Pérez, María Amparo León, Flor Guerrero, Rafael Caballero. UPR Cuba, UPO España, UMA España.	73 Introducción a la transformación de puntajes normales secuenciales. Adrián Macías López, Víctor Tercero Gómez. ITESM	6 Roundoff-error-free framework for the exact solutions of Sparse Linear Systems. Christopher Lourenco, Adolfo Escobedo, Erick Moreno-Centeno, Timothy Davis. Texas A&M University, Arizona State University.
	16:40 - 17:00	68 A choice model for the product design problem based on a multicriteria decision aiding approach. Omar Ahumada Valenzuela, Juan Carlos Leyva López, Alma M. Romero Serrano. UAdeO.	14 Una forma de disminuir el agrupamiento de camiones. Citlali Olvera, Yasmín Ríos. UANL.	50 Random-key particle swarm optimization algorithm. Efrain Ruiz. ITS.
17:00 – 17:20		Coffee Break		

JUEVES 18

		Sala 1	Sala 2	Sala 4
BLOQUE C	17:20 - 17:40	29 Generador de instancias para el problema de planificación de la red de distribución eléctrica. Eduardo Valdés, Rodrigo Palacios, Oscar Villanueva. UANL, ITESM Morelos, IBERDROLA España.	57 Heurística para el problema de formación de células de manufactura considerando la secuencia de operaciones y presupuesto para adquirir máquinas adicionales. Dolores Edwiges Luna, Juan A Díaz, Jacobo Duez. UDLAP.	74 Un algoritmo de estimación de distribuciones para el problema de zonificación de lotes agrícolas. Salvador Vicencio, Víctor Macedo, Jonás Velasco. CIMAT Aguascalientes.
	17:40 - 18:00	97 Desarrollo de un modelo de simulación para los resultados preliminares de una elección. David F. Muñoz, Héctor Gardida, Hugo Velázquez, Jorge D. Ayala. ITAM, INE.	76 Diseño de horarios para sincronizar grupos de líneas de transporte en paraderos comunes. Omar Jorge Ibarra Rojas, Juan García. UANL.	33 Heurísticas para resolver un problema de la mochila sobre un bin rectangular. Carlos Alegria Galicia, Julia A. Bennell, Marta Cabo Nodar, Antonio Martínez Sykora. ITAM, University Southampton, UK.
	18:00 - 18:20	54 Anticorrelaciones en gráficas, enfoque multiobjetivo y por etapas. Luis Eduardo Urbán Rivero, Javier Ramírez, Rafael López Bracho. UAM.	21 Autómata para el mercado accionario usando Martingalas. Jaime Alberto Gómez Vilchis, Federico Hernández Álvarez, Luis Ignacio Román. UNAM, Banco de México.	63 Estrategia de optimización de diseño de página en documentos planos de tamaño fijo. Mario Eduardo Marín Limón, Jorge Raúl Pérez Gallardo. CIMAT Aguascalientes.
	18:20 - 18:40	64 Una metaheurística aplicada en un problema de ruteo de vehículos para turistas, considerando carga y descarga de pasajeros. Pedro Inés Loera Martínez and Iris Abril Martínez Salazar. UANL.	51 Método de solución en dos etapas para el problema del agente viajero múltiple. Azcarie Manuel Cabrera Cuevas, Jania Astrid Saucedo Martínez. UANL.	

VIERNES 19

		Sala 1	Sala 2	Sala 4
BLOQUE A	10:00 - 10:20	59 Comparación de métodos de defuzzificación en un modelo matemático para la selección de cartera de proyectos con incertidumbre en los requerimientos de tareas y presupuesto total disponible. Nancy M. Arratia Martínez, Nelly M. Hernández González UDLAP.	30 A relinked variable neighborhood search for the bi-objective traveling purchaser problem with deliveries. Pamela J. Palomo-Martínez, M. Angélica Salazar-Aguilar. UANL.	46 Las matrices Robinson en el cruce de optimización combinatoria, seriación arqueológica y teoría de la decisión. David Romero Vargas, José Luis Figueroa González. IMATE-UNAM Morelos.
	10:20 - 10:40	34 Mathematical model to evaluate impacting factors in Sales, Operations Planning (S&OP). Juan A. Cedillo-Robles, Neale R. Smith. ITESM.	22 Desarrollo de procedimientos para determinar una ruta de distribución y suministro en una empresa de manufactura. Jessica Lizeth Salazar Norato, Edith Lucero Ozuna Espinosa. UANL.	36 Maximal covering location problem for the design of a reverse logistics network. Ximena Dorely Medrano Gómez, Omar Ibarra Rojas, Deisemara Ferreira, Eli Angela Vitor Toso. UANL.
	10:40 - 11:00	79 Problema multi-objetivo de localización de instalaciones considerando indicadores de accesibilidad. Katia Herrera, Omar Ibarra. UANL.	96 Diseño de una red de distribución mediante el problema de enrutamiento de vehículos capacitados selectivos para una empresa de producción de reactivos químicos en México. Guillermo Airam Piloto Cuellar, José Luis Martínez Flores, Santiago Omar Caballero Morales, Diana Sánchez Partida. UPAEP.	19 Programación lineal entera mixta como herramienta para el rediseño de una cadena de abastecimiento. Daniela Román Echevarría, Jania Astrid Saucedo Martínez. UANL.
11:00 - 11:30		Coffee Break		

VIERNES 19

		Sala 1	Sala 2	Sala 4
BLOQUE B	11:30 - 11:50	12 Asignación flexible de choferes, vehículos y viajes en un sistema de transporte público. Francisco Gerardo Meza Fierro, Citlali Maryuri Olvera Toscano, Yasmín Agueda Ríos Solís. UANL.	48 Integración de diseño de territorios y enrutamiento periódico para actividades de servicio. Elías Olivares-Benítez, Samuel Nucamendi-Guillén. UP Zapopan, Jalisco.	8 Desarrollo de software para la predicción de ventas aplicado a empresas proveedoras de productos químicos. Rocío Castillo, Marco Gómez. UAT.
	11:50 - 12:10	16 Optimización de un ciclo de operación de un reactor nuclear usando redes neuronales y colonias de hormigas. Juan José Ortiz-Servín, Alejandro Castillo, José Luis Montes, Raúl Perusquia. ININ.	37 Métodos de solución para problemas de rutas de vehículos dinámicos y centrados en el cliente. Mayra Alejandra Luna Peña, Francisco Román Angel Bello, Ada Margarita Álvarez Socarrás. ITESM, UANL.	65 On the Conditional In-Control Performance for Nonparametric Control Charts. Elena C. Villanueva Guerra, Víctor Gustavo Tercero Gómez, Álvaro E. Cordero Franco. ITESM, UANL.
	12:10 - 12:30	93 Designing an adaptive local search for a genetic algorithm applied to water distribution. Osvaldo Alvarado Amaya, Juan Bruno Castro Carrillo, Luis Reynaldo González García, Gilberto Rivera Zárate, Julia Patricia Sánchez Solís, Jorge Enrique Rodas Osollo. LaNTI, UACJ.	23 Bi-objective mixed-integer programming model for disaster resource allocation. Esteban Ogazón-González, Neale R. Cornejo. ITESM.	

VII CSMIO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA, OCTUBRE 2018

MARTES 16

MIÉRCOLES 17

JUEVES 18

VIERNES 19

	Registro UAdeC (8:00 – 9:00)		
	Inauguración (9:00 – 10:00)	Ponencias (9:00 – 10:40)	Asamblea SMIO (8:30 – 10:00)
	Conferencia Inaugural Dr. Laureano Escudero (10:00 – 11:00)	Café (10:40 – 11:00)	Ponencias (10:00 – 11:00)
	Café (11:00 – 11:30)	Plenaria Dr. Cipriano Santos (11:00 – 12:00)	Café (11:00 – 11:30)
	Tutorial 1 Dr. Víctor Zavala (11:30 – 13:10)	Tutorial 2 Dra. Monique Guignard (12:00 – 13:40)	Ponencias (11:30 – 12:30)
	Comida (13:10 – 16:00)	Comida (13:40 – 16:00)	Plenaria Dr. Gilberto Calvillo (12:30 – 13:30)
	Ponencias (16:00 – 17:20)	Ponencias (16:00 – 17:00)	Clausura (13:30 – 14:00)
	Fotografía Grupal (17:20 -17:40)	Café (17:00 – 17:20)	
Registro Hotel Sede (17:00 - 19:00)	Café (17:40 – 18:00)	Ponencias (17:20 – 18:40)	
	Plenaria Dr. José Luis González (18:00 – 19:00)		
	Brindis (19:00 – 20:30)		
		Cena (20:00 – 22:30)	



CSMIO 2018

EL **CSMIO 2018** AGRADECE LA COLABORACIÓN DE
LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA,
DEL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA,
DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATEMÁTICAS APLICADAS,
DE LA FACULTAD DE SISTEMAS Y

DEL CONSEJO ESTATAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL ESTADO DE COAHUILA;
GRACIAS A ESTAS ORGANIZACIONES FUE POSIBLE REALIZAR EL
VII CONGRESO DE LA SOCIEDAD MEXICANA DE INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES 2018