

---

VIII Congreso de la  
Sociedad Mexicana de Investigación de  
Operaciones

---

**ITAM**

INSTITUTO TECNOLÓGICO AUTÓNOMO DE MÉXICO

Edgar Possani • Luis Moncayo • Marta Cabo  
Miguel de Lascuráin  
*Comité Local*

Departamento de Ingeniería Industrial y Operaciones  
ITAM

Octubre 2019

VIII Congreso de la  
**Sociedad Mexicana de Investigación de  
Operaciones**

*Tipo de Documento:*  
**Libro de Resúmenes  
CSMIO2019**

Ciudad de México

**Departamento de Ingeniería Industrial y Operaciones  
ITAM**

**Octubre 2019**

# Índice

Bienvenidos al CSMIO2019	VII
Comité Científico	VIII
Índice de Autores	IX
Optimización convexa para estimar matrices de demanda origen-destino	1
Optimización de la distribución de alimentos perecederos en una pyme	2
Híper gráficas y programación matemática; dos herramientas para el trading financiero	3
A spherical geometry heuristic for the traveling salesperson Problem enabling CPU-based implementations for practical analytics of large instances	4
Trazabilidad de activos mediante RFID en una empresa manufacturera	5
Reducción de amontonamientos en transporte urbano usando simulación y optimización	6
Manejo sustentable de bosques mexicanos mediante modelos de restricción de adyacencia	7
Optimización de rutas de transporte de personal mediante el diseño de un modelo de un problema de ruteo de vehículos	8
Generación de planes de expansión energética utilizando programación lineal	9
Modelo de programación lineal entera para resolver la asignación de salones en la Universidad Autónoma de Querétaro	10
Indirect estimation of interregional freight flows with a real-valued genetic algorithm	11
Evaluación y determinación para ubicar estaciones de servicio de gas natural vehicular mediante modelos de localización	12
Diseño de territorios de cobertura para las patrullas de policía	13
Herramienta matemática para la asignación de rutas de recolección de residuos sólidos urbanos	14
Reprogramación de recursos para sistemas flexibles de transporte público con autobuses	15
Evaluación de la saturación de la red de movilidad vial propuesta para el nuevo Aeropuerto Internacional de México	16
Comparación de un modelo de programación entera mixta y una metaheurística en el diseño de plantas (UA-FLP).	17
Herramienta de apoyo a la decisión para diseño de página usando programación entera y TOPSIS	18
Comparación de metaheurísticas para resolver el problema de zonificación agrícola	19
Simulación de estado transitorio del despacho de combustible en gasolineras ante el riesgo de cierre de ductos como medida anti Huachicoleo	20
Cálculo de frecuencias y diseño de horarios para la sincronización de líneas de tránsito con paraderos en común	21

Una estrategia de reencadenamiento de trayectorias para un problema binivel bi-objetivo de logística verde	22
Estudio del problema de asignación óptima de trasplantes renales cruzados en Nuevo León	23
Resolviendo un problema bi-nivel de cierre de instalaciones competitivas mediante metaheurísticas	24
Heurística para el problema de reducción de pérdida de conectividad en redes móviles	25
Aplicación de la técnica TOPSIS para priorizar la introducción al mercado de productos a base de malanga (Colocasia esculenta L. Schott)	26
Planeación de visitas turísticas personalizadas	27
Mejora en la gestión del almacenamiento de componentes para el armado de prototipos mediante la aplicación de modelos de programación lineal entera	28
Asignación de volúmenes de compra entre proveedores de empaque a través de la aplicación de una metodología híbrida de simulación y optimización.	29
Análisis de diferentes soluciones para un problema bi-nivel de logística humanitaria	30
Optimizando el emparejamiento de jueces en un concurso de carne asada	31
Planificación de producción en sistemas de inyección de plásticos	32
Modelo de programación entra mixta de una red de logística inversa con demanda estocástica	33
Equilibrium in a Financial Model as a Stackelberg game	34
Multi-objective Design of Balanced Sales Territories	35
Optimización de rutas de reparto con ventanas de tiempo establecidas y múltiples viajes por vehículo	36
Problema de enrutamiento de vehículos con ventanas de tiempo para los clientes y base	37
Modelado de un Sistema de Transporte de Personal con VRPTW	38
Determinación de los Parámetros Óptimos de Secado de Papa con Algoritmos Genéticos	39
Un Algoritmo Genético para el Problema de Ruteo de Vehículos con Costos Acumulados considerando Índices de Prioridad	40
Optimización de tiempos de entrega de materiales de construcción utilizando simulación discreta	41
Diseño de una Política de Inventario para una Planta de Producción de Paneles Solares	42
Optimización de tiempos de entrega de materiales de construcción utilizando simulación discreta	43
Gestión del inventario de una planta de producción de remolques con demanda intermitente	44
Marco metodológico de un modelo de evacuación dinámica para evacuaciones en caso de huracanes	45
Ruteo de vehículos escolares: un caso de estudio	46

Representación única de soluciones para el mTSP	47
The open vehicle routing problem with hiring cost	48
Método híbrido para el establecer una política de inventarios	49
A Location-Inventory Optimization Model Design for a Lignocellulosic Biomass Biofuel Supply Chain	50
Modelo matemático para la programación de horarios de cursos de una institución de educación del nivel superior en México	51
Planificación a largo plazo en las operaciones de corte en la fabricación de muebles	52
Administración del inventario de un banco de sangre usando simulación	53
Hacia un simulador de control de adicciones basado en un sistema dinámico	54
Implementación de una herramienta lean para la mejora de procesos en un banco de leche	55
Localización de centros de tratamiento para obesidad y enfermedades crónico-degenerativas	56
Valor del tiempo de carga en carretera	57
Packing circles and unequal rectangles as mixed integer non-linear models using formulation space search	58
Aplicación de Value Stream Map (VSM) con simulación: un caso de estudio	59
Implementación de la metodología DMAIC en una empresa metalmecánica	60
Optimización del Inventario en un Sistema de Bicicletas Compartidas	61
Optimization model for a sustainable sugarcane irrigation system at Altas Montañas Area, Veracruz, Mexico	62
Hacia un Simulador para la predicción de adicciones en Tijuana Baja California	63
A comparative study of open source programming languages to implement variance-covariance matrix for portfolio diversification	64
Evaluación de diferentes medidas de error aplicada al sistema de predicción de ventas de empresas proveedoras de productos químicos	65
La Complejidad y la Simplicidad Inherente Hacia la unificación de la Programación Lineal y la Teoría de Restricciones	66
Evaluation of Public HEI on Teaching, Research, and Knowledge Dissemination by Data Envelopment Analysis	67

## Optimización convexa para estimar matrices de demanda origen-destino

Victoria Chávez<sup>1,2</sup>, Héctor Juárez<sup>1</sup> y Yasmín Ríos<sup>2</sup>

(1) Departamento de matemáticas, Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa, Ciudad de México

(2) Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, N. L.

\*Correo electrónico: vicky.fis@gmail.com

### Resumen

En este trabajo se considera un modelo cuadrático penalizado para actualizar matrices de demanda origen-destino (matriz O-D) en redes de transporte público a partir de una pequeña cantidad de datos observados. Una de las hipótesis que se hace al estimar matrices O-D, es que no hay cambios bruscos de la demanda en el área geográfica de estudio. Es por ello que el objetivo del modelo que aquí estudiamos es encontrar una nueva matriz O-D que sea lo más cercana posible a otra matriz O-D de referencia, la cual pudo haberse obtenido a partir de encuestas en los hogares o algún otro método. La nueva matriz O-D debe satisfacer dos condiciones más:

- sus entradas deben ser no negativas y
- al llevar a cabo una asignación de tránsito con esta nueva matriz, se deben reproducir los datos observados.

Una de las metodologías más estudiadas en la literatura es el método de (Spiess, 1990), en el cual se busca minimizar la distancia entre los volúmenes de tránsito (tráfico) observados y los que se obtienen después de aplicar algún método de asignación. Para resolver el problema, Spiess propuso un método de máximo descenso multiplicativo que preserva la estructura de una matriz conocida a priori y la no negatividad de las soluciones.

Posteriormente, propusimos un modelo donde la función objetivo consiste en minimizar la suma de dos cantidades: una es la distancia entre la matriz de demanda a priori y la matriz estimada; mientras que la otra cantidad es la distancia entre los datos observados y los que se obtienen después de aplicar un método de asignación lineal multiplicada por un factor de penalización  $k$ , ver Juárez y Chávez (2014). Este modelo penalizado es equivalente a otros modelos usados en la literatura, donde la función objetivo consiste en un promedio ponderado de las dos cantidades mencionadas. Aquí, adaptamos el método de gradiente conjugado de forma multiplicativa para resolver el problema obteniendo la misma calidad de soluciones más eficientemente.

Recientemente (Chávez et al., 2018), propusimos otro enfoque que consiste en incorporar explícitamente la condición de no negatividad en un modelo de Lagrangiano aumentado y su solución iterativa mediante la técnica de ascenso dual y el método de multiplicadores. En este trabajo presentamos los resultados que obtuvimos al probar nuestras metodologías en dos redes: la red de tránsito de la ciudad de Winnipeg, que cuenta 23716 pares O-D; y la red de tránsito del área metropolitana del Valle de México con más de 2 millones de pares O-D. En estos dos casos, consideramos una reducción del tamaño del problema extrayendo los coeficientes nulos en la matriz a priori para reducir aún más el tiempo de cómputo.

### Referencias

Chávez M. V., Juárez L. H., Ríos Y. A. (2018) Penalization and Augmented Lagrangian for O-D Demand Matrix Estimation from Transit Segment Counts. *Transportmetrica A: Transport Science* pp. 1-29.

Juárez L. H., Chávez M. V. (2014) O-d matrix adjustment for transit networks by conjugate gradient iterations. *Investigación operacional* 36(2):115-126.

Spiess H. (1990) A gradient approach for the O-D matrix adjustment problem. EMME/2 Support Center, Switzerland, <http://www.spiess.ch/emme2/demadj/demadj.html>.

## Optimización de la distribución de alimentos perecederos en una pyme

Allan Cubillo Artavia<sup>1\*</sup> y María Angélica Salazar Aguilar<sup>1</sup>

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

\*Correo electrónico: allanca4@gmail.com

## Resumen

En este trabajo se analiza el caso de estudio de una empresa pyme comercializadora y fabricante de productos lácteos, que cuenta con 64 clientes distribuidos alrededor de la República de Costa Rica, a quienes les debe hacer entregas de producto de forma semanal, quincenal o mensual, de acuerdo a los contratos contraídos con ellos. La empresa cuenta únicamente con un vehículo para realizar la entrega de dichos productos, por lo que han realizado rutas diarias para hacer la distribución de productos. Cabe mencionar que la entrega de productos no se realiza todos los días, puesto que se designa uno o dos días por semana para hacer actividades en la planta de producción. Por otra parte, la empresa tiene un stock de 25 SKUs y la demanda proviene de los 64 clientes ya mencionados, los cuales varían con el tiempo, dado que por falta de recursos o baja demanda, se ha tenido que dejar de visitar a algunos de los clientes que se encuentran muy alejados.

En razón de lo anterior, se trabaja con el problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW, por sus siglas en inglés), en el que se consideran vehículos con capacidad limitada y cada uno de los clientes demandan cierta cantidad de producto, el cual debe ser entregado dentro de una ventana de tiempo dada (El-Sherbeny, 2010); para ello se implementó un modelo en GAMS y se resolvió una instancia del problema para cada día de la semana, haciendo uso de CPLEX, lo que permitió contar con las rutas óptimas de distribución para la empresa. Asimismo, se realizó una modificación de la heurística *búsqueda adaptativa por entornos grandes* (ALNS, por sus siglas en inglés) implementada en VBA (Visual Basic para Aplicaciones) para Excel (Erdogan, 2017).

En la Tabla 1 se muestran algunos de los resultados obtenidos mediante CPLEX, en comparación con el heurístico implementado en VBA de Excel, lo que a su vez se contrasta con cinco de las instancias seguidas por la pyme en cuestión, las cuales son basadas en el conocimiento y experiencia del personal. Como puede observarse, en estos casos de estudio, la solución óptima representa un ahorro entre 3% y 14% en los tiempos de recorrido, lo cual se traduce en una disminución de costos para la empresa.

Nombre de la instancia	Tiempos de traslado en minutos			
	Óptimo	Heurística	Empresa	% de mejora
VRPTWS1J-S3J	215	215	229	6%
VRPTWS2J-S4J	230	230	242	5%
VRPTWS1M	322	322	333	3%
VRPTWS3M	323	324	344	6%
VRPTWS4M	360	362	417	14%

Tabla 1: Comparación entre resultados obtenidos

Conviene señalar que de las instancias que se compararon, el heurístico propuesto por Erdogan, arrojó datos iguales al óptimo en un 64% de los casos, es decir, hubo coincidencia en la secuencia de visitas y por ende en el tiempo total de viaje. Adicionalmente, en 18% de las instancias, a pesar de no coincidir en la secuencia de visitas a los clientes, si hubo igualdad de los tiempos de viaje; únicamente en dos instancias es donde se muestra una diferencia en cuanto a los tiempos de viaje.

Finalmente, se debe indicar la facilidad práctica con la que la pyme puede hacer uso de esta solución, debido a que la herramienta está implementada en Microsoft Excel, lo cual brinda factibilidad y viabilidad para la aplicación real en la operación de la empresa.

## Referencias

Gunes Erdogan. An open source Spreadsheet Solver for Vehicle Routing Problems. *Computers and Operations Research*, 84:62–72, 2017.

Nasser A. El-Sherbeny. Vehicle routing with time windows: An overview of exact, heuristic and metaheuristic methods. *Journal of King Saud University – Science*, 22(3):123–131, 2010.

## Híper gráficas y programación matemática; dos herramientas para el trading financiero

Ricardo Avila Gómez <sup>1\*</sup>

(1) 1Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

\*Correo electrónico: ricardoavila77780@gmail.com

### Resumen

Una forma de obtener beneficios a través del trading financiero es explotar la aparición de arbitrajes. En palabras simples, un arbitraje es una diferencia favorable en los precios de compra y venta, de tal forma que esta diferencia nos permita percibir una ganancia. El trading y los arbitrajes los podemos encontrar en muchos mercados: apuestas deportivas, acciones bursátiles, materias primas, divisas, futuros, cripto monedas, etcétera. Para hacer rentable una operación de trading nos solemos apoyar en herramientas propias del análisis técnico, como la lectura de velas. Este trabajo explora una generalización de la teoría de grafos así como programación matemática para proponer dos herramientas cuyo propósito final, es aumentar la rentabilidad de una operación de trading. La ventana de oportunidad para encontrar y comprar arbitrajes es muy breve. El trading presenta dos momentos críticos que pueden disminuir la rentabilidad y dificultar la operación, las herramientas propuestas atacan estos problemas:

1. La búsqueda de precios que permiten un arbitraje; su aparición es poco frecuente y difícil de detectar.
2. Determinar las cantidades que se deben invertir para maximizar la ganancia, sin arriesgar todo y quedarnos sin fondos, además de estar sujetos a restricciones propias del mercado.

Para enfrentar cada uno de estos problemas, se desarrollaron dos herramientas complementarias:

1. Método de híper gráficas: exploramos una generalización del concepto grafo, donde una arista relaciona dos vértices, extendemos esta definición a una arista que relaciona  $n$  vértices, esta generalización la denominamos híper gráfica. De esta forma, damos un orden y estructura a los mercados financieros. Este método facilita la búsqueda de precios, usa teoría de híper gráficas para modelar, interpretar y analizar el mercado a través del tiempo. Con este método podemos determinar dónde se originará el siguiente cambio de precios en un conjunto de mercados conocidos. Es una herramienta que permite conocer a detalle, el comportamiento de los diferentes elementos que viven en los mercados financieros y aprovechar este conocimiento en nuestro beneficio.
2. Programas matemáticos (MINLP): estos programas incorporan todos los elementos numéricos alrededor del trading: saldos, precios, descuentos, impuestos, límites de inversión o de ganancias. Son programas cuyo propósito es maximizar la utilidad, minimizar tiempos de cálculo y reducir el margen de error. Nuestra función objetivo es la suma de todos los costos y ganancias, de esta forma maximizamos sobre nuestra utilidad. Nuestras variables de decisión son las cantidades que debemos invertir, sujetas a un conjunto de restricciones definidas por las condiciones existentes en el trading

El método general se realiza de la siguiente forma: i) Se adapta el mercado elegido a una híper gráfica: los precios son nuestros vértices y el mercado donde se encuentran será la híper arista que los contiene; ii) usando conceptos como el grado y el tamaño de la híper gráfica, así como sub estructuras llamadas híper gráficas estrellas, analizamos a través del tiempo los movimientos del mercado en búsqueda de patrones y elementos de interés; iii) con la información obtenida de este análisis determinamos qué elementos son más estables, de esta manera nos adelantamos un poco a los movimientos del mercado; iv) cuando los precios adecuados se presenten, usamos los programas propuestos para maximizar la ganancia. El estudio de caso realizado en el mercado de las apuestas deportivas arrojó que la teoría de híper gráficas es altamente trasladable a los mercados financieros, dando lugar a una buena modelación, esto nos permite extraer información sobre los mercados y apoyar a la toma de decisiones, necesaria para invertir y tener una rentabilidad óptima. Los programas propuestos son adaptables a diversos mercados realizando pequeñas modificaciones que permiten maximizar las utilidades, sistematizar la operación, reducir tiempos y evitar errores humanos. Estas dos herramientas cumplen bien su propósito: aumentar la rentabilidad del trading, con la gran ventaja de poder adaptarse a distintos mercados que permitan la aparición de arbitrajes.

### Referencias

- Alain Bretto. Hypergraph theory: An introduction. Switzerland: Springer, 2013.
- Jon Lee, Sven Leyffer. Cap. Part I: Convex MINLP; The IMA Volumes in Mathematics and its Applications. 154: Mixed Integer Nonlinear Programming. USA : Springer, 2010.



# A spherical geometry heuristic for the Traveling Salesperson Problem enabling CPU-based implementations for practical analytics of large instances

Federico Trigos<sup>1\*</sup> and Aydin Nassehi<sup>2</sup>

- (1) Tecnológico de Monterrey, EGADE Business School, Ave. Eugenio Garza Lagüera y Rufino Tamayo, San Pedro Garza García, NL, 66269, México  
 (2) Department of Mechanical Engineering, University of Bristol, Bristol, BS8 ITR, UK

## Resumen

This work introduces a new mathematical interpretation of the feasible region for the traveling salesperson problem. The interpretation shows that by modeling the solution space from a certain perspective, all feasible solutions are contained on the surface of a hyper-sphere. This fact allows the construction of a heuristic that is highly suitable for parallel computing. It then derives a six rule nodes exchange heuristic approach based on this representation to solve the TSP and proposes a parallel computing framework for its implementation that allows near optimal solutions for large problems (more than 10,000 cities) to be found efficiently see Table I.

**Table 1.** Performance of ONER, SWAP, TNER,2OPT, TPER and RONER against 2OPT.

File name	Lower Bound	6 Rules O.F.	6 Rules Time (s)	6 Rules Gap vs L.B.(%)	2OPT O.F.	2OPT Time (s)	2OPT Gap vs L.B.(%)	2OPT Gap- 6R Gap (%)	6R vs 2OPT Time (%)
wi29	27,603	27,603	0.10	0.00	29,456	0.08	6.71	6.71	25
dj38	6,656	6,656	0.10	0.00	7,075	0.07	6.30	6.30	43
qa194	9,352	9,676	0.11	3.46	10,036	0.08	7.31	3.85	38
uy734	79,114	82,418	0.23	4.18	84,250	0.14	6.49	2.32	64
zi929	95,345	98,254	0.23	3.05	99,308	0.15	4.16	1.11	53
lu980	11,340	11,735	0.25	3.48	11,959	0.14	5.46	1.98	79
rw1621	26,051	26,789	0.55	2.83	27,811	0.26	6.76	3.92	112
mu1979	86,891	91,365	1.06	5.15	93,153	0.50	7.21	2.06	112
nu3496	96,132	100,925	4.16	4.99	102,222	1.61	6.34	1.35	158
ca4663	1,290,319	1,343,652	11.11	4.13	1,357,384	4.66	5.20	1.06	138
tz6117	394,609	415,442	20.73	5.28	420,638	7.53	6.60	1.32	175
eg7146	172,350	181,594	33.43	5.36	182,051	12.73	5.63	0.27	163
ym7663	238,314	250,072	43.64	4.93	253,554	16.30	6.39	1.46	168
pm8079	114,831	121,452	36.49	5.77	122,821	13.18	6.96	1.19	177
ei8246	206,171	215,832	57.62	4.69	218,952	20.47	6.20	1.51	181
ar9152	837,377	876,466	62.51	4.67	882,292	22.71	5.36	0.70	175
ja9847	491,924	514,123	87.34	4.51	521,122	31.49	5.94	1.42	177
gr9882	300,899	314,983	87.50	4.68	321,249	31.93	6.76	2.08	174
kz9976	1,061,378	1,112,534	96.14	4.82	1,129,186	34.47	6.39	1.57	179
fi10639	520,527	548,137	108.06	5.30	552,600	39.83	6.16	0.86	171
mo14185	427,246	446,524	227.75	4.51	452,433	79.05	5.90	1.38	188
ho14473	176,940	185,537	175.93	4.86	188,040	58.79	6.27	1.41	199
it16862	557,315	585,754	412.36	5.10	592,398	140.08	6.30	1.19	194
vm22775	569,288	595,936	916.90	4.68	605,319	306.18	6.33	1.65	199
sw24978	855,597	898,182	1,289.18	4.98	907,776	435.37	6.10	1.12	196
bm33708	959,011	1,005,524	2,956.97	4.85	1,021,040	993.01	6.47	1.62	198
ch71009	4,565,452	4,753,171	29,660.86	4.11	4,812,255	10,302.04	5.41	1.29	188

## Trazabilidad de activos mediante RFID en una empresa manufacturera

Maray Toranzo Alfonso<sup>1\*</sup> y María Angélica Salazar Aguilar<sup>1</sup>

(1) Maestría en Logística y Cadena de Suministro, Universidad Autónoma de Nuevo León

\*Correo electrónico: maray.toranzo@gmail.com

### Resumen

En los últimos años se ha devenido un auge de los mercados cada vez más globalizados y las empresas en su afán por competir buscan herramientas que les permitan obtener datos verídicos y controles más robustos para sus productos (Herrera, 2008), mejorar la colaboración entre los diferentes participantes y mantener una integración durante los diversos eslabones de la cadena de suministro, haciéndola más ágil y flexible (Bendavid et al, 2006).

Para hacerle frente a estas necesidades ha surgido un nuevo paradigma de redes, el Internet de las cosas (IoT), y con ello una serie de herramientas para su desarrollo. Tal es el caso de la tecnología RFID (“Radio Frequency Identification”), la cual es una de las tecnologías de identificación automática más utilizadas, pues integra comunicación, almacenamiento y computación (Ventura, 2012).

En este trabajo se presenta un caso de estudio de un fabricante de autopartes, el cual cuenta con una serie de almacenes, de los cuales forma parte el almacén de engranes. Actualmente existe un descontrol en el empaquetado que se utiliza para transportar y resguardar los productos en el almacén, tanto materia prima como producto terminado. Por ello diariamente se realizan conteos diarios para saber el nivel de existencia, pero esto incurre en gastos por trabajo administrativo que no aporta valor al producto y provoca una baja confiabilidad de inventarios. Aunado a lo anterior, la ausencia de empaques causa paros en las líneas de producción debido a la dificultad para surtir el material, por lo que no se cuentan con ellos en el momento en que se necesitan.

Para hacerle frente a estas problemáticas, se propone un diseño e implementación de la tecnología RFID a nivel de empaques con diseños ergonómicos que son utilizados tanto para el recibo de materia prima como para el resguardo una vez es manufacturado y también en los montacargas que son utilizados para el traslado de los mismos. Para el desarrollo del trabajo se contaron con varias fases de desarrollo que parten desde un estudio económico de costo–beneficio y una minuciosa selección del proveedor hasta el diseño de la arquitectura y la automatización del proceso, contando con la integración de etiquetas en los racks y un kit de antenas y lectores acoplado en el montacargas.

La alternativa propuesta permite el control y la trazabilidad en tiempo real de los activos tanto dentro como fuera del almacén, eliminando las revisiones manuales y garantizando datos precisos y confiables. Con lo anterior, se reduce la falta de disponibilidad de materia prima en la línea de producción, disminuyendo así los paros de la misma. Por otra parte permite establecer un vínculo empaque–embarque–cliente que garantiza el retorno y las entregas a tiempo, mejorando así el desempeño de la cadena de suministro de la empresa.

### Referencias

Bendavid et al (2006). Explorando los Impactos de la RFID en los Procesos de Negocios de una Cadena de Suministro. *Journal of Technology Management & Innovation. Research*, 1(4):30–42, 2006.

Herrera M (2008). Beneficios e impacto de la tecnología EPC (“Electronic Product Code”) y su plataforma funcional RFID (“Radiofrequency Identification”) dentro de la cadena de abastecimiento. *Rhombus*, (4):81–94, 2008.

Ventura E (2012). Estrategia de Almacenamiento Dedicado Distribuido Administrado por un Sistema de Identificación por Radiofrecuencia (RFID). Repositorio Nacional CONACYT

## (#8) Reducción de amontonamientos en transporte urbano usando simulación y optimización

Citlali Maryuri Olvera Toscano<sup>1\*</sup> y Yasmín Á. Ríos Solís<sup>1</sup>

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

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

### Resumen

En la actualidad, las agencias de transporte urbanas mexicanas tienen que tomar decisiones efectivas para satisfacer a sus clientes (usuarios de los camiones en la agencia). Una de las decisiones tácticas con mayor relevancia es el de asignar horarios de llegada a cada una de las paradas en el recorrido del camión. Sin embargo, en regiones con gran población, la dinámica cambia en el día a día, ya sea por el tráfico, la lluvia o accidentes. Dichos cambios llegan a modificar los horarios establecidos de llegada de cada camión incumpliendo con los criterios preestablecidos de calidad de atención. Generalmente, si un camión se retrasa a la llegada de una parada, encuentra mayor cantidad de usuarios de lo habitual, estos son los usuarios que llegarían habitualmente más los que llegan en el tiempo de retraso. Por el contrario, si el camión está adelantado a su horario, la cantidad de usuarios es menor de lo habitual, esto es, algunos usuarios no han llegado a la parada. Estos adelantos o retrasos provocan que los camiones se *amontonen* en las paradas generando una de las quejas más frecuentes en los usuarios de transporte: alto tiempo de espera de un camión. Esta situación no solo se presenta en México, sino también en los países con transporte urbano en América como Brasil, Chile, Estados Unidos, o en Europa como Alemania e Inglaterra, por mencionar algunos.

Por lo tanto, el presente trabajo se enfoca en desarrollar e implementar una simulación basado en un sistema de transporte urbano en el área metropolitana de la ciudad de Monterrey en el estado de Nuevo León en México. Durante la simulación, se resuelve simultáneamente un modelo matemático cuya entrada depende de las características del sistema de transporte con el fin de determinar los horarios de salida en cada parada para cada camión. Esto permite actuar oportunamente en *tiempo real* al presentarse cualquier cambio en los horarios preestablecidos debido a contingencias. El objetivo del modelo matemático es el de reducir la cantidad de amontonamientos de los camiones.

### Referencias

- Hernández-Landa, Leonardo G and Morales-Marroquín, Miguel L and Nigenda, Romeo Sánchez and Ríos-Solís, Yasmín Á. Linear bus holding model for real-time traffic network control. *Applied Simulation and Optimization*, 303–319, 2015.
- Bartholdi III, John J and Eisenstein, Donald D. A self-coordinating bus route to resist bus bunching. *Transportation Research Part B: Methodological*, 46(4):481–491, 2012.
- Daganzo, Carlos F. A headway-based approach to eliminate bus bunching: Systematic analysis and comparisons. *Transportation Research Part B: Methodological*, 43(10):913–921, 2009.

## Manejo sustentable de bosques mexicanos mediante modelos de restricción de adyacencia

Mario C. López Locés<sup>1\*</sup>, Roger Z. Ríos Mercado<sup>1</sup> y Oscar A. Aguirre Calderón<sup>2</sup>

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

(2) Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León

\*Correo electrónico: mariocesar@lopezloc.es

### Resumen

En años recientes, y principalmente por la amenaza del cambio climático por intervención humana, se han desarrollado métodos de extracción sustentable de recursos en la industria, para tratar de detener o revertir la tendencia cada vez más evidente del incremento de la temperatura a escala global. Uno de los frentes más importante para contribuir a esta lucha, es en el cuidado y mantenimiento de los recursos forestales, en el que se han realizado esfuerzos en el desarrollo de estrategias de manejo para extraer la mayor cantidad de recursos maderables, mientras que a la vez se aumenta la cantidad de carbón secuestrada, se promueve la biodiversidad del bosque y se regenera o aumenta el área total de este.

El uso de técnicas de Investigación de Operaciones en el manejo forestal se ha hecho de forma sistemática en otros países del mundo que cuentan con importantes reservas de bosques, en un principio para maximizar el rendimiento económico obtenido por cada unidad de manejo, y en años recientes, también para incluir los objetivos medioambientales mencionados anteriormente. A pesar de contar con niveles comparables en materia de recursos forestales y de ser una de las 17 naciones del mundo consideradas como megadiversas [3], en México el uso de herramientas de optimización para perseguir estos fines aún no se realiza de forma generalizada. Por ello, en este trabajo de investigación, se propone el uso de un modelo matemático, conocido en la literatura como Modelo de Restricción por Área [2] para resolver el problema de gestión forestal con requerimientos de adyacencia en unidades territoriales, cuyo objetivo es el de construir bloques factibles de corta total, constituidos por unidades de manejo o subrodales, durante un horizonte de planeación, y que en cada periodo de corta no se supere un área mayor a la determinada por las restricciones medioambientales que buscan proteger la regeneración natural del bosque o que destruya el hábitat de especies endémicas del bosque.

Para evitar la selección de dos o más bloques factibles que comparten elementos en común para un periodo de corta, se empleó la técnica propuesta por [1], la cual hace uso de la relación de los conjuntos de bloques factibles del rodal y los cliques maximales en este, al conceptualizarlo como un grafo en el que los subrodales corresponden a los nodos y las aristas están dadas por las relaciones de adyacencia entre estos.

Como caso de estudio, se utilizaron los datos obtenidos de zonas forestales de México, con información de campo obtenida mediante bases de datos y sistemas de información geográfica. Con estos datos se elaboró un modelo matemático que tiene como objetivo maximizar el beneficio económico al final del periodo de planeación, respetando las restricciones de adyacencia de los bloques factibles en cada periodo de cosecha. Para resolver el modelo, se utilizó el algoritmo de ramificación y acotamiento del optimizador Gurobi, con el cual se realizaron también estudios de sensibilidad para encontrar configuraciones que deriven en mejores soluciones, modificando los valores de área máxima permitida, duración de los periodos entre cosechas, entre otros.

### Referencias

- [1] M. Goycoolea, A. Murray, F. Barahona, R. Epstein y A. Weintraub. "Harvest scheduling subject to maximum area restrictions: exploring exact approaches". En: *Operations Research* 53.3 (2005), págs. 490-500.
- [2] A. Murray. "Spatial restrictions in harvest scheduling". En: *Forest Science* 45.1 (1999), págs. 45-52.
- [3] UNEP. *Latin America and the Caribbean Environment Outlook*. 2010.

## Optimización de rutas de transporte de personal mediante el diseño de un modelo de un problema de ruteo de vehículos

Nancy I. Martínez Rangel<sup>1\*</sup> y Miguel Mata Pérez<sup>2</sup>

(1) Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

(2) Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Maestría en Logística y Cadena de Suministro, San Nicolás de los Garza, Nuevo León

\*Correo electrónico: nancy.martinezrgl@uanl.edu.mx

### Resumen

El transporte es una parte fundamental de la logística, y es considerado como el conjunto de medios y métodos que permiten organizar un servicio o una empresa, es considerado como el costo logístico más importante en la mayoría de las empresas (Agbegha et al., 1998). El objetivo de una empresa es garantizar la correcta distribución y comercialización de los productos al menor costo posible. El transporte es una actividad del sector terciario, entendida como el desplazamiento de bienes de un lugar a otro, en un vehículo o sistema de transporte que utiliza una determinada infraestructura o red de transporte (Thomson, 1976). El diseño de un sistema de transporte para el personal representa una actividad importante dentro de la logística del proceso productivo. Decidir adecuadamente dónde se localizarán los diferentes puntos de recolección y qué ruta seguirá el transporte para contribuir a mejorar ventajas competitivas para la organización e incluso reducir externalidades como la gestión de rutas y disconformidad de los usuarios ante un mal servicio (González, 1973). En este trabajo abordamos un problema que contribuye a la construcción de un sistema eficiente en el traslado de personal que debe viajar diariamente entre su ciudad establecida como residencia y una determinada empresa establecida como su área laboral, ubicada a varios kilómetros de distancia de sus hogares. Para dichos traslados existe una empresa que cuenta con una flota de medios de transporte con la misma capacidad, correspondiéndole a la empresa la definición de las rutas y paradas de transporte en los diferentes traslados requeridos para disminuir el tiempo total del viaje. El sistema de transporte presenta algunas dificultades que motivaron el presente trabajo, como lo son: la inexistencia de paraderos de detención definidos (lo cual puede generar muchas detenciones), una baja utilización de algunos transportes y la redundancia en la cobertura de algunos recorridos, lo cual implica una utilización ineficiente de los recursos y ocasionando rutas de traslado más largas de lo requeridas.

Se propone un modelo de programación entera mixta que abordará de manera integral un problema de selección de paraderos y del respectivo diseño de rutas de los transportes dentro de la ciudad para el traslado de personal a una empresa. El modelo será resuelto de manera directa con un software de programación entera que resulta satisfactorio para abordar determinadas instancias del problema en estudio. Las soluciones que se proveerán un buen equilibrio entre el nivel de servicio entregado por la empresa a su personal. Todo lo anterior establece una metodología basada en técnicas propias de la investigación de operaciones que permite llevar a cabo posteriores actualizaciones requeridas por este tipo de problema de naturaleza real, contribuyendo una herramienta importante para el apoyo a la toma de decisiones de esta problemática.

### Referencias

Gerald Y. Agbegha, Ronald H. Ballou y Kamlesh Mathur. Optimizing Auto-Carrier Loading. *Transportation Science*, 174-188, 1998. Johnson C. Smith University, Charlotte, North Carolina 28216 Department of Operations Research, Case Western Reserve University, Cleveland, Ohio 44106.

J.M. Thomson. *Teoría económica del transporte*. Alianza Editorial, 1976. ISBN 10: 8420621536/ ISBN 13: 9788420621531.

José González Paz. *Los transportes*. Biblioteca Salvat de Grandes Temas, 144, 1973.

## Generación de planes de expansión energética utilizando programación lineal

Ing. Marco Martínez<sup>1\*</sup>, Dra. Cecilia Martín del Campo<sup>1</sup>, Dra. Patricia Balderas<sup>1</sup>, Dra. Katya Rodríguez<sup>2</sup> y Ing. Guadalupe Cruz<sup>1</sup>

(1) Unidad de Planeación Energética, UNAM

(2) Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, UNAM

\*Correo electrónico: ing.marco.mtz1991@gmail.com

### Resumen

Se muestra un modelo de optimización para la generación de planes de expansión energética a largo plazo utilizando programación lineal, satisfaciendo la demanda de años futuros bajo ciertas restricciones como lo son la capacidad instalada en el año base, los planes de adición y retiros de capacidad, las metas de energía limpia, los límites de adición de infraestructura, entre otros. Este modelo se aplicó a la optimización de la expansión del sistema de generación eléctrico nacional, para el periodo del 2015 al 2050 considerando una demanda anual, una sola región (uninodal), coeficientes de costos tomando en cuenta los factores de plantas, costos unitarios y parámetros típicos de México. Se presentan resultados de un plan de expansión que considera 14 tecnologías de generación eléctrica que satisfacen las metas de energía limpia para México considerando 50% de participación de energía limpia en el año 2050.

*Palabras clave:* Planeación Energética; Programación Lineal; Optimización; Energía.

## Modelo de programación lineal entera para resolver la asignación de salones en la Universidad Autónoma de Querétaro

M.R. Benítez Escárcega<sup>1\*</sup>, L. Ramirez Granados<sup>1</sup> y L.E. Urbán Rivero<sup>2</sup>

(1) Universidad Autónoma de Querétaro

(2) Centro de Investigación en Matemáticas

\*Correo electrónico: mbenitez08@alumnos.uaq.mx

### Resumen

En la Facultad de Ingeniería (FI) de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) se asignan por semestre un conjunto de cursos de licenciatura a un número determinado de salones de clases. Esta actividad se realiza con base a la experiencia, por lo tanto es susceptible a errores y toma mucho tiempo. Se diseñó un modelo de programación entera cuya función objetivo es minimizar la relación entre el tamaño del grupo y el cupo del salón. Se utilizaron datos de los horarios reales e infraestructura de la FI-UAQ para realizar la asignación del semestre enero-junio del 2019, con visto bueno de las autoridades universitarias.

*Palabras clave:* Programación Entera; Problema de Asignación; Modelo Matemático.

## Indirect estimation of interregional freight flows with a real-valued genetic algorithm

Javier Rubio-Herrero<sup>1\*</sup>, and Jesús Muñuzuri<sup>2</sup>

(1) Engineering Department, St. Mary's University, San Antonio, TX, United States

(2) Grupo Ingeniería de Organización, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, Sevilla, Spain.

\*Correo electrónico: jrubioherrero@stmarytx.edu

### Abstract

Data on interregional commodity flows are sometimes found at the aggregated level, where total flows are presented in origin-destination (OD) matrices. While this information can be used to estimate future flows at this level of aggregation or to find mathematical models that can explain them, a question that arises is how to estimate product-by-product or disaggregated commodity flows when actual data do not exist to make a direct comparison with the results of any chosen model. Our work presents a method for this estimation based on a doubly-constrained gravity model (de Dios Ortúzar and Willumsen, 2011) which produces a set of disaggregated flows whose sum produces an OD matrix that differs as little as possible from the aggregated data available in the sense of the standardized root mean square error (SRMSE). The resulting optimization problem is nonlinear and nonconvex. In turn, its feasible region depends on the deterrence function of the gravity model. We put several deterrence functions to the test, where each of them depend on some parameters that were calibrated by means of a real-valued genetic algorithm (Dréo et al., 2006). As an application, we attempted to estimate the disaggregated flows of ten products that were transported among Spanish regions between 2007 and 2016. For each year, we searched the optimal parameters of each deterrence function and validated their use with the remaining years. This was done very much in a machine learning fashion, by training a model for a given set of data and then validating it with another set. We found that an exponential deterrence function performed on average as good or better than any other of the functions tested ( $\alpha = 0.05$ ). Figure 1 shows the box plots of each set of validations and how all functions, except for the potential deterrence function, performed similarly.

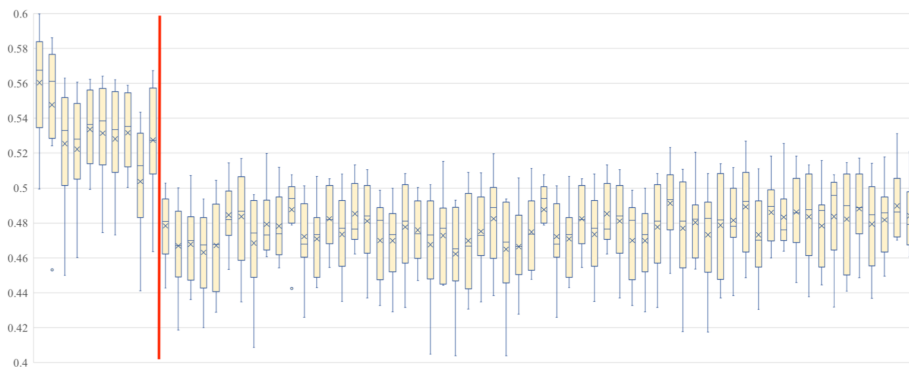


Figure 1: Box plots of the validation SRMSE's of all the models trained

The SMRSE values obtained by our models are in par or perform better than those produced by other recent gravity models in the field of transportation research (de Grange et al., 2011; Delgado and Bonnel, 2016).

### References

Juan de Dios Ortúzar and Luis G Willumsen. Modelling transport. John Wiley & Sons, 2011.

Louis de Grange, Angel Ibeas, and Felipe González. A hierarchical gravity model with spatial correlation: mathematical formulation and parameter estimation. *Networks and Spatial Economics*, 11(3):439-463, 2011.

Jorge Cabrera Delgado and Patrick Bonnel. Level of aggregation of zoning and temporal transferability of the gravity distribution model: The case of Lyon. *Journal of Transport Geography*, 51:17-26, 2016.

Johann Dréo, Alain Pétrowski, Patrick Siarry, and Eric Taillard. Metaheuristics for hard optimization: methods and case studies. Springer Science & Business Media, 2006.



## Evaluación y determinación para ubicar estaciones de servicio de gas natural vehicular mediante modelos de localización

Yang-Li Wong Ontiveros<sup>1\*</sup> y Jania Astrid Saucedo Martínez<sup>1</sup>

(1) Maestría en Logística y Cadena de Suministro, Universidad Autónoma de Nuevo León.

\*Correo electrónico: yangliwong91@gmail.com

### Abstract

Actualmente la demanda de gas natural vehicular (GNV) está en crecimiento, motivo por el cual es necesario realizar nuevas instalaciones de Estaciones de Servicio (EDS) que brinden el suministro de este combustible en el país, con el fin de atender dicha demanda para uso automotor. Por tal motivo, las estaciones de carga serán las facilitadoras de abastecer y controlar los requerimientos del parque vehicular de dichos sectores de la población.

Las alternativas de localización de instalaciones pueden ser de las decisiones más difíciles e importantes que se necesitan realizar para un eficiente diseño de la cadena de suministro a largo plazo (Daskin et al., 2003) esto debido a la naturaleza estratégica de la toma de decisiones, tomando en consideración los costos de instalaciones, los que pueden ser elevados. Ahora en contexto en nuestro país solo existen alrededor de 27 estaciones de carga de gas natural vehicular, por ello la importancia en este trabajo de presentar un proyecto de ubicaciones satisfactorias en términos de abastecer la demanda a futuro y contemplar ciertos aspectos cualitativos y económicos para ello, ya que hoy en día no se cuenta con investigaciones abarcando estos temas.

Una buena o mala decisión de localización puede marcar la eficiencia de la cadena de suministro, afectando la satisfacción de las necesidades de los clientes. Basándome en Bosque y Gómez (2003), para localizar gasolineras en Alcalá de Henares, España y la mayoría de otros trabajos como el de Levi, Wu, Shen y Levi (2004), que analizan los problemas de localización como problemas mixtos de programación lineal o bien, cómo problemas con funciones de costo no lineales, para obtener el número determinado de instalaciones posibles, ubicaciones específicas y áreas demandantes se busca mediante el uso modelos de localización, optimización y simulación para resolver dicha problemática. Se mostrará un modelo lineal de autoría propia que facilite la ubicación de estaciones de servicio basado en problemas de localización similares aplicado a este caso en específico, estructurado.

### References

- Bosque S, Gómez D. y Palm R. Un nuevo modelo para localizar instalaciones no deseables: ventajas derivadas de la integración de modelos de localización asignación y SIG Universidad de Alcalá, 2003. Facultad de Filosofía y Letras.
- Daskin, M., Snyder, L., y Berger, R. Facility Location in Supply Chain Design. Paper, No.03010, 2003. Northwestern University.
- Drezner, Z. y Hamacher (2002) Facility location - applications and theory. Springer Verlag, 2002. Springer Verlag.
- Drezner, Zvi. Facility Location: Applications and Theory. 1o Edition, Springer-Verlang Berlin, 2001. New York.
- Hale, T., y Moberg, Ch Location science research: A review. Annals of Operations Research, 123(5):123(1), 21-35.
- Drezner, Zvi. Handbook of Quantitative Supply Chain Analysis: Modeling in the E-Business Era International Series in Operations Research y Management Science 1o Edition, Springer-Verlag, 2004. Germany.

## Diseño de territorios de cobertura para las patrullas de policía

Adrián Alejandro Román Acosta<sup>1\*</sup> y Jania Astrid Saucedo Martínez<sup>1</sup>

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

\*Correo electrónico: adrian.romanast@uanl.edu.mx

### Resumen

En la actualidad la elevada inseguridad que existe en México afecta a la población que se siente víctima de la delincuencia, esta problemática puede ser atacada con el aumento del desempeño de las fuerzas policiales. Las patrullas juegan un papel importante en la seguridad pública y el diseño de sus territorios de cobertura impacta significativamente en la efectividad de sus operaciones. Los límites de patrullaje para cada unidad permiten responder a incidentes, disuadir y previniendo delitos.

En muchas ocasiones los departamentos policiales utilizan soluciones empíricas apoyadas en la experiencia de sus representantes lo cual no garantiza los mejores resultados (Zhang y Brown, 2013). Para intentar revertir esta situación en la literatura se han aplicado métodos de solución más complejos basados en modelos de investigación de operaciones; ejemplo de ello son los estudios de Curtin et al (2007) que maximiza el área cubierta con un número determinado de oficiales y Cheung et al. (2014) que utiliza dos modelos para determinar la ubicación de las estaciones y la cobertura de las patrullas de policía.

Por su parte, Adler et al. (2013) propone un modelo de Vehículos de Patrulla de Rutina (RPV). El RPV se deriva de las emergencias y las disciplinas de seguridad pública. Las patrullas de tránsito se sitúan en una red de carreteras, que está representada como un gráfico no dirigido  $G = (V;E)$  y su objetivo es maximizar la presencia y la visibilidad considerando un límite de tiempo establecido.

La presente investigación está dirigida a la localización y asignación de los recursos de la policía preventiva municipal y desarrolla un modelo de programación lineal entera basado en Adler et al. (2013) que aumenta la presencia y la visibilidad de la policía en los lugares con mayor índices delictivos registrados, permitiendo además de la atención de los incidentes la prevención de estos. Se utiliza un número jo de patrullas, el tiempo de servicio aceptable se dene a partir de protocolos y procedimientos de los departamentos policiales y para determinar la distancia se forma una matriz basadas en herramientas de localización existentes. El caso de estudio se aplica en un municipio de la zona metropolitana.

### References

Adler, N., Shalom Hakkert, A., Kornbluth, J., Raviv, T. y Sher, M. Location allocation models for traffic police patrol vehicles on an interurban network. *Ann Oper Res*, 221(1):9-31, 2013. ISSN 0254-5330.

Cheung, C. Y., Yoon, H. T., y Chow, A. H. Optimization of police facility deployment with a case study in Greater London Area *Journal of Facilities Management* 13(3):229-243, 2014. ISSN 1472-5967.

Curtin, K., Hayslett McCall, K. y Qiu, F. Determining optimal police patrol areas whit maximal covering and backup covering location models. *Networks and Spatial Economics* 10(1):125-145, 2007. ISSN 1572-9427.

Zhang, Y. y Brown, D. Police patrol districting method and simulation evaluation usin gagent-based model and GIS. *Security Informatics*, 7(2), 2013. ISSN 2190-8532.

## Herramienta matemática para la asignación de rutas de recolección de residuos sólidos urbanos

Erick O. de Hoyos-Argueta<sup>1\*</sup> y Jania M. Saucedo-Martínez<sup>1</sup>

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

\*Correo electrónico: erick3694@gmail.com

### Resumen

En México, el sistema de recolección de basura es un servicio que se brinda de manera gratuita por parte de las autoridades que buscan reducir costos constantemente. Actualmente, no existe un algoritmo o herramienta que desarrolle un sistema de recolección de residuos sólidos urbanos (RSU) para realizar esta actividad de manera eficiente y al menor costo posible, por lo que, es importante encontrar rutas óptimas de costos para los camiones de basura que les facilite una manera adecuada de realizar el servicio, ya que los autores Das y Bhattacharyya (2015) establecen que los costos de recolección representan entre el 80-90 % y 50-80 % del presupuesto para un nuevo sistema en países de bajo y mediano desarrollo respectivamente. Este tipo de actividades que brindan un servicio a la comunidad pertenecen al área llamada Logística Urbana, donde los autores Montero y Eslava (2016) y Dotoli y Epicoco (2017) concuerdan que al utilizar un correcto sistema de recolección de basura se logra tener un impacto económico, social y ambiental.

Para lograr establecer un sistema correcto de recolección de residuos sólidos urbanos en una región o municipalidad, son necesarias la planificación y programación de rutas en dos fases:

- **Macroruteo:** es la división de la ciudad en distintos sectores operativos (distritos o territorios), el total de número de camiones necesarios para cada uno de estos sectores y la asignación de un área a cada vehículo recolector.
- **Microruteo:** es el recorrido específico que deben realizar diariamente los vehículos recolectores en las zonas de la localidad donde han sido asignadas para recolectar en la mejor forma posible los residuos generados.

En este proyecto adaptamos un modelo de territorios propuesto por Alvarado, M. (2017) para realizar una partición adecuada de zonas en el municipio de Monterrey, buscando realizar un correcto balanceo entre estas de acuerdo con: (i) la capacidad de los camiones, (ii) los distintos horarios y (iii) la frecuencia de la recolección, con el propósito de realizar las macro-rutas del sistema. Por otro lado, al contar con una zonificación adecuada, se trazaran las micro-rutas, desarrollando una solución al Problema de ruteo de vehículos (VRP), tomando en consideración las restricciones: camiones disponibles, capacidad y tiempo de trayecto.

Como caso de estudio, se tiene una empresa recolectora de residuos sólidos urbanos en el estado de Nuevo León para las casas habitación, prestando el servicio a diversos municipios. La problemática principal se enfoca en reducir el daño a las unidades de servicio, generadas por el exceso de carga, buscando un correcto balanceo a la hora de zonificar y trazar rutas. La compañía cuenta con una flota máxima de camiones homogéneos para prestar el servicio con una capacidad limitada, y se cuenta con distintos horarios y frecuencias de recolección para cada uno de los municipios, donde todos los camiones parten y regresan al mismo punto de origen/destino. Para realizar el sistema de recolección se considera el método de recolección más común en México *de acera*, definido por la SEDESOL (2001) como el recorrido simultáneo del camión y los *peones* de la cuadrilla, al ir recogiendo los residuos previamente colocados por los residentes en el frente de sus casas. Se presentan los inicios de un modelo de optimización lineal entera mixta creando un modelo matemático replicable para los distintos municipios en los que presta servicio la compañía, logrando mejorar los resultados actuales de su método de recolección al implementar una nueva zonificación y nuevas rutas para las unidades de servicio.

### References

- SEDESOL (2001). Manual técnico sobre generación, recolección y transferencia de residuos sólidos municipales. Secretaría de Desarrollo Social, 1:1-139. Dirección General de Infraestructura y Equipamiento.
- M.R. Alvarado Vazquez (2017). Diseño de Territorios para la recolección de residuos sólidos en áreas municipales. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Sub dirección de Estudios de Posgrado.
- Das, S., y Bhattacharyya, B.K. (2015). Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes. *Waste Management*, 43(1) 9-18. Elsevier ISSN 0956-053X.
- Montero, J., y Eslava, A. (2016). La logística urbana, la ciudad logística y el ordenamiento territorial logístico. *Revista RETO: Revista Especializada en Tecnologías Transversales de la Organización*, 4(4):21-40. Bogotá.
- Dotoli, M., y Epicoco, N. (2017). A Vehicle Routing Technique for Hazardous Waste Collection. *IFAC PapersOnLine*, 50(1): 9694-9699. Elsevier ISSN 2405-8963.

## Reprogramación de recursos para sistemas flexibles de transporte público con autobuses

Alejandro Andrade Michel<sup>1\*</sup>, Yasmín A. Ríos Solís<sup>1</sup> y Vincent A. L. Boyer<sup>1</sup>

(1) Departamento de Ingeniería de Sistemas. Universidad Autónoma de Nuevo León.

\*Correo electrónico: alejandro.andrademi@uanl.edu.mx

### Resumen

Trasladarse de un lugar a otro para llevar a cabo actividades es una necesidad cotidiana del ciudadano referida como molesta y estresante cuando se realiza a través de autobuses de transporte público. El objetivo de nuestro trabajo es incrementar la calidad del servicio para el usuario logrando mitigar de manera eficiente las eventualidades que suceden durante el día.

En países desarrollados, el transporte público tiene una programación estable formada a través de la resolución de el Problema de Programación de Vehículos y el Problema de Programación del Personal generalmente resuelto cada seis meses o cuando se agrega un nuevo viaje al calendario. En cambio, en muchos países en desarrollo como México, la flota de vehículos y conductores disponibles son menos estables generando la necesidad de redistribuir constantemente estos recursos (vehículos y conductores) cada que se interrumpe un viaje previamente asignado por factores como: accidente de tráfico, emergencias médicas, el ausentismo laboral de conductores (Boyer et al., 2018), por ello es necesario tener nuevos modelos y herramientas que se adapten a este tipo de escenarios.

Proponemos en este trabajo un enfoque integrando de el Problema de Reprogramación de Vehículos y el Problema de Reprogramación del Personal, nombrando a este problema como: Reprogramación de Recursos para Sistemas Flexibles de Transporte Público con autobuses. Como herramienta principal para la resolución de este problema se utiliza la simulación, la información de entrada es una programación ideal, probabilidades de accidentes obtenidos mediante la base de datos de la INEGI, probabilidades de ausentismo de conductores y probabilidades de fallas de vehículos. Se emulan los diferentes disturbios que afectan el día a día y mediante una heurística constructiva llenamos los viajes fallidos generando la menor cantidad de cambios de la programación inicial, es decir, que los cambios realizados por la redistribución de recursos generen el mínimo impacto, pero conservando la idea de minimizar los costos de este servicio (pago a conductores y uso de vehículos). Dicho de otra forma, mantener un equilibrio entre la minimización de los costos y maximizar el bienestar de conductores y usuarios del autobús en términos de estabilidad en sus horarios laborales y horarios de viajes.

### References

Vincent Boyer, Omar J. Ibarra-Rojas, and Yasmín A. Ríos-Solís. Vehicle and crew scheduling for flexible bus transportation systems. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2018. doi: 10.1016/j.trb.2018.04.008.

## Evaluación de la saturación de la red de movilidad vial propuesta para el nuevo Aeropuerto Internacional de México

Arturo Pulido Tomás<sup>1\*</sup> y Esther Segura Pérez<sup>1</sup>

(1) Facultad de Ingeniería - DIMEL, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México

\*Correo electrónico: apt290196@gmail.com

### Resumen

En este trabajo se analiza la saturación vial a la que estaría sujeta la red vial (primaria) en caso de la construcción de un nuevo aeropuerto en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), permitiendo decidir a priori la construcción o no de una nueva infraestructura o bien detectar las posibles modificaciones en rutas con vías alternas y así impactar de manera positiva en la movilidad de la red carretera de acuerdo con el proyecto de movilidad propuesto por la Secretaría de comunicaciones y Transportes (SCT). Las vías seleccionadas para el grafo de la zona del Nuevo Aeropuerto (NAIM) se evaluaron para su solución a través del algoritmo Dijkstra para encontrar la ruta más corta en todos los posibles destinos existentes para cada nodo propuesto en la red. Los flujos incluidos en la red fueron el número de viajes en un día entre semana, en auto particular, registrados en la Encuesta Origen - Destino (EOD) del INEGI y se obtuvo una matriz de porcentajes de saturación de arco que se resolvió a través de una metodología propuesta basada en análisis de capacidad de arcos.

*Palabras clave:* Optimización de Redes; Movilidad; Aeropuertos; Saturación Vial

## Comparación de un modelo de programación entera mixta y una metaheurística en el diseño de plantas (UA-FLP).

Saúl Domínguez Casasola<sup>1</sup>, Salvador de Jesús Vicencio Medina<sup>1</sup> y Jonás Velasco Alvarez<sup>2</sup>

(1) Maestría en Modelación y Optimización de Procesos, CIMAT, Aguascalientes, Ags

(2) Cátedras CONACYT-CIMAT, Aguascalientes, Aguascalientes.

\*Correo electrónico: {saul.dominguez, salvador.vicencio, jvelasco}@cimat.mx

### Resumen

El Problema del Diseño de Instalaciones, FLP por sus siglas en inglés (Facility Layout Problem), es un problema clásico que consiste en ubicar un conjunto de instalaciones de tal manera que se minimice el costo de manejo de material asociado al sistema de producción, procesos y distancias recorridas involucradas, entre otros aspectos [1]. La importancia del FLP yace en que el acomodo de las instalaciones impacta directamente sobre la eficiencia de los sistemas productivos. En el caso en que los departamentos tienen forma rectangular, y áreas diferentes, se dice que se trata del Problema de Diseño de Instalaciones con Áreas Desiguales, UA-FLP (Unequal Area Facility Layout Problem) [2]. En esta investigación se desarrolló un modelo matemático de programación entera mixta, que incluye la asignación de posiciones fijas y la rotación de departamentos, el cual se resuelve de forma exacta. Adicionalmente se hace uso de una metaheurística para obtener soluciones factibles en tiempos de cómputo razonables. Ambos métodos son comparados en el costo de manejo de material de las soluciones obtenidas y en el esfuerzo computacional requerido para llegar a ellas. En particular, se tiene un caso de aplicación en el cual se reubican los departamentos de una pequeña empresa de productos lácteos, buscando incrementar sus utilidades al reducir el costo de los movimientos entre áreas. En este estudio de caso se mejora el desempeño de la planta analizada en un 31 % con respecto al diseño original.

### Referencias

- [1] Farahani, R. A., Hetmatfar, M. (2009). *Factory Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies*. Springer Science & Business Media.
- [2] Armour, G. C., & Buffa, E.S. (1963). A heuristic algorithm and simulation approach to relative location of facilities. *Management Science*, 9(2), 294-309

## Herramienta de apoyo a la decisión para diseño de página usando programación entera y TOPSIS

Mario Eduardo Marín Limón<sup>1\*</sup> y Jorge Raul Pérez Gallardo<sup>1</sup>

(1) Centro de Investigación en Matemáticas, Unidad Aguascalientes

(2) CONACYT - Centro de Investigación en Matemáticas, Unidad Aguascalientes

\*Correo electrónico: mario.marin@cimat.mx, raul.perez@cimat.mx

### Resumen

En la industria editorial, el proceso de diseño de página sigue ciertas reglas fijas que son aplicadas gracias a la pericia adquirida de los empleados. Constituye una etapa crítica en los procesos de elaboración de publicaciones impresas ya que un retraso en la aprobación de los diseños, que implican tomas de decisiones en la distribución de elementos visuales en la página (O'Connor, 2014, genera presiones en las etapas siguientes. Se desarrolló e implementó una herramienta de soporte a la decisión para el diseño de página de una sección de los diarios publicados por una empresa dedicada a la prensa escrita en los estados de Aguascalientes y Zacatecas con el fin de hacer más eficiente el proceso de diseño al automatizar ciertas reglas empíricas utilizadas por el diseñador durante el proceso de formado de páginas.

Esta herramienta integra un modelo matemático surgido de la clasificación y posterior modelación de los diferentes niveles de reglas aplicadas al diseño de página, el uso de un algoritmo exacto operando con valores enteros para resolver el problema de satisfacción de restricciones que se plantea y la aplicación de la técnica TOPSIS para clasificar las alternativas de diseño generadas a través de tres criterios de diseño: simetría de notas, aproximación al número áureo por la razón del ancho por el alto de la de fotografía que es un objetivo de diseño altamente deseable (Spira, 2015) y simetría de elementos textuales adicionales al cuerpo de la nota. La salida de esta herramienta es un documento en el formato empleado por la empresa para las etapas siguientes del proceso de generación de la publicación.

Las pruebas de validación realizadas muestran que, si bien el personal de la empresa logró diferenciar entre las páginas diseñadas siguiendo el método tradicional y las generadas con el uso de la herramienta, calificaron como aceptables todas las páginas generadas por la herramienta desarrollada. También se destaca que la herramienta logra reducir en aproximadamente dos tercios el tiempo utilizado para el diseño de una página.

### References

O'Connor, Z. Elements and Principles of Design. Design Research Associates., 20-22, 2014.

Spira M. On the Golden Ratio. In: Cho S. (eds) Selected Regular Lectures from the 12th International Congress on Mathematical Education. Springer, Cham, 755-770, 2016

## Comparación de metaheurísticas para resolver el problema de zonificación agrícola.

Salvador Vicencio<sup>1</sup>, Jonás Velasco<sup>1</sup>, Néstor Cid<sup>1</sup>, Saúl Domínguez<sup>2</sup> y Víctor Macedo<sup>3</sup>

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

(2) Cátedras CONACYT-CIMAT, Aguascalientes, Aguascalientes.

(3) Cátedras CONACYT- Centro Geo, Aguascalientes, Aguascalientes.

\*Correo electrónico: {salvador.vicencio, victor.macedo, saul.dominguez, jvelasco}@ciamat.mx, ncid@centrogeo.edu.mx

### 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 cruce 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 ellas para realizar el proceso de variación (Larrañaga et al., 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 leída hasta el momento, 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 desarrollaron dos EDAs, el primero conocido como EDA-UMDA (por sus siglas en inglés Univariate Marginal Distribution Algorithm), asume que las variables son independientes entre sí, mientras que el EDA-Tree, considera dependencia entre variables, ya que está basado en árboles de dependencia y cada variable está condicionada a su predecesor en el árbol (Pelikan et al., 2007). Ambas metaheurísticas son comparadas en el número de zonas resultantes y en el tiempo de cómputo requerido para llegar a dichos resultados. Para evaluar el desempeño de las metodologías propuestas, 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 los EDAs propuestos brindan soluciones superiores, ya que se reduce el número de zonas en un lote dado; sujeto a un criterio de homogeneidad y se disminuye el tiempo computacional. Debido a esto la calidad de las soluciones son superiores comparadas contra las reportadas por la metodología exacta; esto se debe a que los EDAs tienen un diferente espacio de búsqueda al que tiene el método exacto (ME), mientras que el ME solo usa formas cuadradas y rectangulares, el EDA explora formas como las ya mencionadas.

### References

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

Cid-García, N. M., Albornoz, V., Rios-Solis, Y. A., & Ortega, R. Rectangular shape management zone delineation using integer linear programming Computers and Electronics in Agriculture, 931-9, 2013.

Pelikan, Martin and Tsutsui, Shigeyoshi and Kalapala, Rajiv Dependency trees, permutations, and quadratic assignment problem. Genetic And Evolutionary Computation Conference: Proceedings of the 9th annual conference on Genetic and evolutionary computation, 2007.



## Simulación de estado transitorio del despacho de combustible en gasolineras ante el riesgo de cierre de ductos como medida anti Huachicoleo

Jose Rocha<sup>1</sup>, Marco Montufar<sup>1\*</sup>, Zaida Martinez<sup>1</sup> y Alejandro Ruiz<sup>1</sup>

(1) Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca, Hgo.

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

### Resumen

Este artículo presenta una aplicación de la simulación utilizando Arena<sup>TM</sup> para el despacho de combustible en gasolineras. El principal objetivo del modelo de simulación es analizar el comportamiento del tiempo de espera y la longitud de la línea de espera en las gasolineras ante distintos escenarios de abastecimiento, distintas distribuciones de llegadas, y manteniendo prácticamente constante el número de servidores y la tasa de servicio en cada gasolinera. Los resultados mostraron que un desabasto en las gasolineras, como el llevado a cabo en México, producen grandes tiempos de espera promedio (9 hrs) y largas filas (50 autos en promedio). Medidas de abastecimiento, no tan drásticas, producen tiempos de espera promedio de 2 horas y filas promedio de 15 autos.

*Palabras claves:* simulación, Arena<sup>TM</sup>, estado transitorio, Huachicoleo.

### Introducción

En México según SENER [1] el 87.87% del consumo energético deriva de hidrocarburos de los cuales el 63.42% corresponden a petróleo y derivados. El robo de combustibles, mejor conocido como Huachicoleo, ha traído pérdidas considerables en la recabación de fondos al gobierno federal. Una medida que optó el actual gobierno fue el cierre de ductos, principalmente en la zona centro del país, trayendo como consecuencia la falta de combustible en gasolineras. La simulación es una herramienta capaz de ayudar a estudiar sistemas complejos [2]. Los modelos de teoría de colas presentan resultados muchas veces válidos bajo condiciones estables y difícil de obtener en estudios de estado transitorio. Durante el nuevo sexenio en México, el robo clandestino de gasolina denominado “Huachicoleo” fue foco rojo de atención del gobierno federal, para combatirlo se implementó el cierre de algunos ductos, pero sin medir las consecuencias, ya que la población experimentó largas filas y tiempos exagerados de espera en las estaciones de servicio. Aksyonov et al. [3] utiliza un modelo de simulación para analizar la distribución de gasolina en casos normales desde las refineras hasta las gasolineras utilizando medios de distribución diferentes a los tanques cisterna (ferrocarril por ejemplo).

### Materiales y métodos

Las distribuciones de llegada a las gasolineras se determinaron suponiendo distintas formas de percibir la escasez de gasolina, producto de la propia creencia del conductor y de la propagación de rumores en las redes sociales. El modelo de simulación en Arena<sup>TM</sup>, considera que las estaciones de servicio pueden tener clientes formados, aún sin todavía empezar a atender a los automovilistas. La simulación en estado transitorio calcula los tiempos promedio de espera y las longitudes promedio en fila, además de la probabilidad de no recibir servicio, esto debido al agotamiento de gasolina en la estación de despacho (gasolinera).

### Resultados y conclusiones

Después de realizar las simulaciones de varios escenarios, se encontró que escenarios de abastecimiento no tan drásticos como los llevados a cabo por el gobierno, hubieran prometido tiempos razonables de espera promedio de 2 horas y longitudes promedio de filas de 15 autos, muy distintas de las exageradas que se presentaron durante el cierre de ductos.

### References

- [1] SENER. Balance Nacional de Energía 2014. Secretaría de Energía Primera edición, 2015.
- [2] Law A. Simulation modeling and analysis, Mcgraw Hill, 2017.
- [3] K. Aksyonov, E. Bykov, O. Aksyonova, N. Goncharova, A. Nevolina. “Decision Support for Gasoline Tanker Logistics with BPsim.DSS”, International Conference on Computer Information Systems and Industrial Applications (CISIA 2015)

## Cálculo de frecuencias y diseño de horarios para la sincronización de líneas de tránsito con paraderos en común

Yadira I. Silva-Soto<sup>1\*</sup> y Omar J. Ibarra-Rojas<sup>1</sup>

(1) Centro 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

El proceso de diseño y planificación de los sistemas de transporte, cuyo objetivo es mejorar la eficiencia en la movilidad de los usuarios, involucra decisiones importantes relacionadas con la solución de los siguientes subproblemas: diseño de la red de tránsito, cálculo de frecuencias, diseño de horarios, asignación de vehículos y asignación 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).

Existen numerosos trabajos de investigación relacionados con diferentes enfoques integrales con dos o varios de los subproblemas antes mencionados (Guihaire, 2008; Laporte et al., 2017). Sin embargo, 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 (Schobel, 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 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 del 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 promedio, comparado con resolver los subproblemas 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).

Resultados experimentales, usando un solver comercial, muestran que, para algunas instancias pequeñas, el solver no puede encontrar una solución factible en 1 hora de tiempo de cómputo. Por esta razón, se propone un algoritmo genético basado en llaves aleatorias (BRKGA) para obtener soluciones factibles usando como medida de desempeño la suma ponderada del tiempo de espera promedio en cada paradero y los costos operacionales de cada línea. Debido a que el tiempo de espera y el costo operacional son dos objetivos que están en conflicto, se analiza la versión multiobjetivo en vías de obtener una aproximación de la frontera de Pareto mediante un BRKGA multiobjetivo.

### 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.
- Schobel, Anita Line planning in public transportation: models and methods. *OR spectrum*, 34:491-510, 2012.
- G. Laporte y F. A. Ortega, y M. A. Pozo y J. Puerto Multi-objective integration of timetables, vehicle schedules and user routings in a transit network. *Transportation Research Part B: Methodological*, 98:94-112, 2017.

## Una estrategia de reencadenamiento de trayectorias para un problema binivel bi-objetivo de logística verde

Lilian Lopez-Vera<sup>1\*</sup>, José-Fernando Camacho-Vallejo<sup>1</sup>, Alice E. Smith<sup>2</sup>, José-Luis González-Velarde<sup>3</sup>

(1) Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, Universidad Autónoma de Nuevo León.

(2) Department of Industrial and Systems Engineering, Auburn University, Alabama, USA.

(3) Escuela de Ingeniería y Ciencias, Tecnológico de Monterrey, Nuevo León.

\*Correo electrónico: lilian.llv@hotmail.com

### Resumen

Este trabajo estudia una cadena de suministro en la que intervienen una compañía distribuidora y una compañía manufacturera. La compañía distribuidora envía productos a un conjunto de clientes, mientras que la compañía manufacturera fabrica los productos demandados por dichos clientes. La compañía distribuidora tiene dos objetivos: la maximización de la ganancia obtenida por enviar los productos a los clientes y la minimización de las emisiones de CO<sub>2</sub> ocasionadas por la distribución. Esto último es muy importante en la actualidad, debido a la creciente preocupación ambiental y las regulaciones impuestas por los gobiernos para controlar la contaminación. Existe un gran compromiso entre ambos objetivos, ya que la maximización de la ganancia intentara distribuir productos a la mayor cantidad de clientes posible. Sin embargo, al aumentar el tamaño de las rutas, provocara un mayor incremento en las emisiones de CO<sub>2</sub>. A su vez, la compañía manufacturera busca minimizar sus costos de producción y envió hacia la distribuidora. En la cadena de suministro bajo estudio existe una jerarquía predenida entre ambas compañías. Debido a esta estructura jerárquica se propone un modelo de programación binivel, el cual resulta en un modelo con dos objetivos en el nivel superior y un objetivo en el nivel inferior. El nivel superior esta asociado con la compañía distribuidora, mientras que el nivel inferior esta asociado con la compañía manufacturera. Debido a la complejidad para resolver de forma exacta este modelo, previamente se diseño un algoritmo de búsqueda tabu para obtener las soluciones factibles binivel no dominadas del nivel superior. Es decir, para aproximar la frontera de Pareto. Al considerar el problema bi-objetivo, se toma en cuenta la ganancia de la compañía distribuidora, sin perder de vista a las emisiones de CO<sub>2</sub> causadas por la cadena de suministro. Para la experimentación computacional se adaptaron unas instancias utilizadas en Cordeau, et. al (2002). La búsqueda tabu demostró que era una buena opción para aproximar la frontera de Pareto, pero el esfuerzo computacional era muy alto. En el presente trabajo se busca realizar una reducción considerable en dicho esfuerzo computacional y de ampliar la frontera de soluciones encontrada (ver imagen 1). Para esto se propone una búsqueda tabu controlada para encontrar soluciones muy buenas para un objetivo en particular, y posteriormente hibridizar un procedimiento de reencadenamiento de trayectorias. Esta hibridización tiene como objetivo el partir de estas soluciones en los extremos de la frontera aproximada de Pareto, y después encontrar las soluciones no dominadas en la trayectoria de los extremos. La literatura ha mostrado la conveniencia de agregar el reencadenamiento de trayectorias a alguna heurística como Barbalho, et. al (2013). Al utilizar búsqueda tabu, y agregar dicho procedimiento para obtener los puntos no dominados restantes en base a los puntos extremos encontrados, se logra encontrar una mayor cantidad de soluciones a lo largo de la frontera, así como la reducción del esfuerzo computacional.

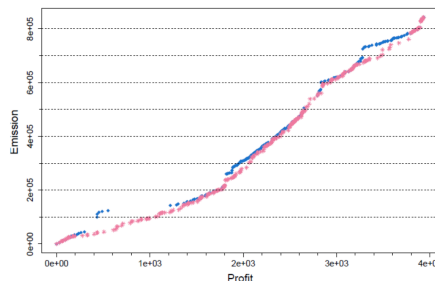


Figura 1: Aproximación de la frontera de Pareto obtenida con búsqueda tabú

### Referencias

Jean-Francois Cordeau, Michel Gendreau, Gilbert Laporte, Jean-Yves Potvin y Frédéric Semet. A guide to vehicle routing heuristics. *Journal of the Operational Research Society*. 2002.

Hugo Barbalho, Isabel Rosseti, Simone L. Martins y Alexandre Plastino. A hybrid data mining GRASP with path-relinking. *Computers & Operations Research*. 2013.

## Estudio del problema de asignación óptima de trasplantes renales cruzados en Nuevo León

Yessica Reyna Fernández<sup>1\*</sup>, Dr. Roger Z. Rios Mercado<sup>1</sup> y Dr. Homero Zapata<sup>2</sup>

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

(2) Servicio de Trasplantes, Universidad Autónoma de Nuevo León, Hospital Universitario Dr. José E. González.

\*Correo electrónico: yessafer.52@gmail.com

### Resumen

La necesidad de incentivar una cultura de donación en México se ha vuelto de vital importancia, debido a que en la actualidad la lista de espera crece más rápido que la cantidad de pacientes que reciben un trasplante cada año. Las personas con insuficiencia renal terminal buscan conseguir un trasplante de riñón, el cual es el tratamiento más económico, debido al altísimo costo de los tratamientos de hemodiálisis. La mayoría de los pacientes muere durante esta larga espera. En el año de 2018 se registraron a 15,072 personas en lista de espera por un riñón (Centro Nacional de Trasplantes, 2018). Mediante el uso de datos reales se pretende mostrar el impacto y beneficio de los programas de trasplantes de riñón cruzados, ilustrando como cambiaría la calidad de vida de las personas dispuestas a participar. Cabe mencionar que este tipo de programas de intercambio renal ya se implementan exitosamente en otros países.

En el problema del trasplante de riñón cruzado, se considera a las parejas de pacientes y su donador incompatible como nodos y las aristas marca el emparejamiento de una pareja de donador y paciente con el receptor y donante de otra pareja. Usualmente los donares de un paciente son familiares o alguien cercano al paciente o receptor, pero en algunos casos existe personas altruistas las cuales deciden donar uno de sus órganos a una persona que lo necesite. Cuando existen estas personas altruistas podemos hacer dos consideraciones dentro del mecanismo del emparejamiento de donadores y receptores.

Un ciclo es una lista ordenada de parejas de pacientes y donadores, tales que una pareja incompatible da un riñón, y otra pareja incompatible tiene destinado algún otro riñón, y así sucesivamente hasta que la ultima pareja incompatible dona el riñón a la primera pareja incompatible. Siendo asignado a lo mas a un ciclo. Una cadena es una lista ordenada de parejas de pacientes y donadores, en donde un riñón donado por un donador altruista es destinado a alguna pareja incompatible, y otra pareja tiene destinado algún otro riñón, siguiendo este patrón hasta apuntar a la lista de espera o se rompa el patrón de donaciones. El problema de intercambio renal es un problema de optimización combinatoria que consiste en, dado un grafo de compatibilidad de parejas incompatibles y/o donadores altruistas, encontrar ciclos y/o cadenas de máxima cardinalidad.

Se llevan a cabo diversos estudios analizando el impacto de la implementación de programas de intercambio renales bajo diferentes escenarios. En este estudio se analizan los resultados obtenidos haciendo variar la longitud de los ciclos o cadenas y usando como función objetivo la máxima cantidad de trasplantes realizados entre parejas de pacientes incompatibles. Se consideran las siguientes tres bases de datos dentro del estado de Nuevo León: i) Base de datos de dependencias estatales que cuenta con 1088 pacientes, ii) Base de datos del Hospital San José contando con 35 pacientes y iii) Base de datos del Hospital Universitario con 15 pacientes. De estas bases de datos se obtiene la información pertinente de cada paciente, principalmente tipo de sangre para poder establecer compatibilidad sanguínea. Como la información del donante vivo de cada paciente es estrictamente confidencial, los donantes son simulados de acuerdo con la distribución conocida de la población mexicana.

Se realiza una descripción más extensa de la experimentación en la charla, describiendo a fondo las instancias usadas. Los resultados computacionales muestran el tremendo impacto positivo que tendría la implementación de un programa de intercambio renal cruzado entre la población del estado. Naturalmente, uno esperaría tal como ocurre en otro países, que el impacto a nivel nacional fuera aún mayor.

### Referencias

Centro Nacional de Trasplantes. Reporte anual 2018 de donación y trasplantes en México. Informe, CENATRA, 2018.

## Resolviendo un problema bi-nivel de cierre de instalaciones competitivas mediante metaheurísticas

Juan-Carlos García-Vélez<sup>1\*</sup>, José-Fernando Camacho-Vallejo<sup>1</sup> y Juan A. Díaz<sup>2</sup>

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

(2) Departamento de Física, Actuaría y Matemáticas, Universidad de las Américas Puebla, México.

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

### Resumen

Existen situaciones en los diversos ámbitos sociales, políticos, económicos y financieros en las cuales las empresas requieren cerrar algunas de sus instalaciones que actualmente están operando con normalidad. En este trabajo consideramos un mercado específico, en donde hay dos empresas que ofrecen un servicio requerido por un conjunto de clientes. Dichas empresas compiten entre sí y deben cerrar algunas de sus instalaciones existentes (Ver Ruiz, et al. (2016)). Debido a la naturaleza de ambas empresas y al posicionamiento que tienen actualmente en el mercado, existe una jerarquía entre ellas. Al momento de tomar la decisión sobre cuáles instalaciones van a cerrar, deben tener en cuenta las posibles acciones de la empresa rival y la reacción de los clientes. Note que si se consideran más de dos empresas se agregarían más niveles en el problema y correspondería a uno de programación multi-nivel. El objetivo que tiene cada empresa es conseguir la máxima captura de demanda de los clientes en el mercado. Este problema se definió por primera vez en la tesis de maestría García-Veléz (2019) y abordan la situación mediante un modelo de programación bi-nivel binario, el cual denotan como “El problema  $(r|p)^{\mathcal{L}}$  -Centroide”, en donde en el nivel superior la empresa con mayor poder adquisitivo (líder) cierra sus instalaciones y después en el nivel inferior, la empresa con menos poder (seguidor) cierra las suyas, las variables de decisión  $x_i^f$  toman el valor 0 si la instalación  $i$  se ha cerrado, 1 en otro caso, para  $f \in \{L, F\}$ , (líder y seguidor, respectivamente). Entonces, este problema consiste en decidir las  $p$  y  $r$  instalaciones que van a cerrar ambas empresas, respectivamente. El símbolo  $\mathcal{L}$  indica que en el modelo, la asignación de los clientes se hace tomando en cuenta un radio de lealtad y no en base a la distancia más corta, tales restricciones se agregan de manera válida en el problema del seguidor.

El problema descrito anteriormente es una variante del bien conocido problema de la literatura  $(r|p)$  - *Centroide* en donde se localizan instalaciones. En Davydov et al. (2014) se demuestra que este problema pertenece a la clase de complejidad  $\sum_2^P$ -Duro, por lo que al hacer una equivalencia, el problema descrito pertenece a la misma clase de complejidad. En dicho trabajo de tesis resuelven el problema utilizando un algoritmo basado en ramificación y acotamiento para problemas de programación bi-nivel binarios, adaptado al propuesto en Bard et al. (1992). Sin embargo, al tratarse de un método exacto solo pueden resolver instancias de tamaños limitados, pues para instancias con apenas 20 instalaciones por el líder y seguidor, respectivamente, en donde ambos cierran 8 instalaciones, es decir  $p = r = 8$ , requiere un tiempo de ejecución de aproximadamente 14 horas, al utilizar una estación de trabajo con un procesador Intel (R) Core de 3:0 GHz con 32 GB de memoria RAM. A pesar de que cerrar instalaciones de una empresa es una decisión estratégica y que requiere mucho tiempo de por medio, en ocasiones se debe tener información de las soluciones al problema de manera rápida, para tener una mejor percepción de la empresa y saber las posibles pérdidas de capital para así tomar medidas estratégicas de mercado. Por lo que nosotros proponemos un GRASP y una Búsqueda Tabú (TS) que se basan en explorar soluciones del líder y en cada una de ellas se resuelve el problema del seguidor a optimalidad utilizando un optimizador comercial. La principal característica del GRASP es que la asignación de los clientes a las instalaciones se va actualizando conforme se van cerrando, mientras que en la TS se prohíbe cerrar una instalación por un número aleatorio de iteraciones. Mediante el uso de estas metaheurísticas podemos encontrar buenas cotas a los problemas conocidos. Además, se probaron con instancias más grandes y el comportamiento fue eficiente con bajo costo computacional. Finalmente, se presentan unas comparativas entre las dos metaheurísticas propuestas y llevamos a cabo una discusión sobre ellas.

### 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.

García-Vélez Juan-Carlos (2019). El problema  $(r|p)$  - Centroide negativo considerando lealtad de los clientes. *Universidad Autonoma de Nuevo Leon*, (2019). Enero 2019.

Davydov et al.(2014). On the complexity of the  $(r|p)$ -centroid problem in the plane. *Top*, Springer, (2014).

## Heurística para el problema de reducción de pérdida de conectividad en redes móviles

Carlos A. Nuñez F.<sup>1\*</sup>, Dolores E. Luna<sup>1</sup>, Juan A. Díaz<sup>1</sup> y José L. González-Velarde<sup>2</sup>

(1) Universidad de las Américas Puebla.

(2) Tecnológico de Monterrey.

\*Correo electrónico: carlos.nunezfo@udlap.mx

### Resumen

El problema de reducción de pérdida de conectividad en redes móviles puede describirse de la siguiente forma. La red que permite la conectividad está formada por un conjunto de torres. Cada torre está a su vez conectada a un controlador de red que puede atender a múltiples torres. Cada torre y cada controlador, tiene capacidad limitada en cuanto al tráfico que puede manejar. En una red telefónica, un celular se conecta a la torre de la cual recibe la señal más fuerte. Si el dispositivo se encuentra en movimiento se conectará a diferentes torres durante su recorrido. La pérdida de conectividad en una llamada se pierde al cambiar de una torre a otra. Los cambios entre torres conectadas a diferentes controladores suelen fallar más que los cambios de torres conectadas al mismo controlador. Estos cambios provocan que la conexión se caiga y por lo tanto deben ser minimizados. Para lograrlo, se busca agrupar de forma estratégica las torres en los controladores de forma que no se exceda la capacidad y el número de cambios entre torres conectadas a diferentes controladores sea el mínimo. Morán - Mirabal et al. (2013) proponen un modelo matemático para resolver este problema y dos heurísticas para encontrar soluciones factibles para el problema. En este trabajo se propone una heurística híbrida GRASP-Tabú para el mismo problema. Los resultados se prueban con un conjunto de instancias generadas con el procedimiento descrito en (Morán - Mirabal et al. 2013). Los resultados preliminares son de buena calidad.

### Referencias

Morán-Mirabal, L. F., González-Velarde, J. L., Resende, M. G., & Silva, R. M. (2013). Randomized heuristics for handover minimization in mobility networks. *Journal of Heuristics*, 19(6), 845-880.

## Aplicación de la técnica TOPSIS para priorizar la introducción al mercado de productos a base de malanga (*Colocasia esculenta* L. Schott)

Moises Cortés-Jerónimo.<sup>1</sup>, J. Raúl Pérez-Gallardo<sup>1\*</sup> y Mónica E. Parra-Melchor<sup>2</sup>

(1) Centro de Investigación en Matemáticas A.C, Aguascalientes, Aguascalientes.

(2) Colegio de Posgrados, Veracruz, Veracruz.

\*Correo electrónico: raul.perez@cimat.mx

### Resumen

La malanga (*Colocasia esculenta* L. Schott), también conocida como taro, es un tubérculo perenne que se cultiva en regiones tropicales y subtropicales. Morfológicamente es una herbácea suculenta cuyas hojas provienen directamente de un cormo subterráneo primario, y donde se forman cormos secundarios, llamados cormelos. Este cultivo proporciona almidones comestibles, y sus hojas jóvenes se utilizan como vegetales. Los cormos tienen altos contenidos de nutrientes, carbohidratos y proteínas. En años recientes, México se ha transformado en uno de los principales países exportadores de malanga cuya producción se destina principalmente a la alimentación humana, de animal y elaboración de productos procesados. Sin embargo, al ser un producto no tradicional en México requiere de un estudio para evaluar su aceptación por parte de los consumidores nacionales. En este sentido el objetivo de este trabajo fue determinar aquellos productos comestibles a base de malanga que tienen la máxima aceptación en las principales zonas productoras de México para su pronta comercialización.

Para el estudio se usaron los resultados de las 256 personas que participaron en pruebas sensoriales de cinco productos elaborados a base de malanga (Galleta, Panque, Tartaleta, Hojuela tipo 1 y Hojuela tipo 2) recabadas en el 2016. A través de la herramienta de apoyo a la toma de decisiones multicriterio Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions (TOPSIS) se realiza una jerarquización de los productos después de dividir la muestra en tres subconjuntos de acuerdo a la edad de los participantes.

Los resultados mostraron que, al analizar la jerarquización obtenida en los tres grupos, los productos con mayor aceptación son la Tartaleta y la Hojuela tipo 2. Se concluye que al introducir cierto producto a base de malanga al mercado se tiene que tomar en cuenta a que segmento va dirigido, ya que los gustos y preferencias están relacionadas con las características de los consumidores.

### Referencias

- [1] Ishizaka, A., Nemery, P., Multi-Criteria Decision Analysis John Wiley Sons: London, 2013
- [2] Montaldo, A., Cultivo de raíces y tubérculos tropicales 1era. Edición IIAC Agroamericana, 1991
- [3] San Cristobal, J.R., Multi-Criteria Analysis in the Renewable Energy Industry Springer-Verlag: London, 2012

## Planeación de visitas turísticas personalizadas

Victoria Rebillas Loredo<sup>1\*</sup>, Cristina Maya Padrón<sup>2</sup> y Fernando Elizalde Ramirez<sup>3</sup>

(1) Universidad de las Américas de Puebla, San Andrés Cholula, Puebla.

(2) Universidad Politécnica de García, García, Nuevo León.

(3) Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, Nuevo León.

\*Correo electrónico: victoria.rebillas@upc.edu

### Resumen

En este trabajo se propone un modelo que permite la generación de un plan turístico dentro de una ciudad para quien la visita. Suponga que se encuentra como turista en una ciudad, donde solo tiene como referencia los sitios emblemáticos, pero no sabe cómo llegar a ellos y tiene un tiempo límite disponible para hacerlo. Dada la cercanía a los sitios que desea visitar y/o tiempo disponible, podría ser posible visitar otros lugares cercanos a los puntos de interés señalados, pero su desconocimiento de la ciudad le impedirían visitar dichos lugares. El plan de visita desarrollado, proporciona la secuencia de lugares a visitar y cómo llegar a ellos, además de incluir otros puntos posibles a visitar que se ajusten a su tiempo. Se desarrollo una formulación matemática para generar planes de visitas turísticas personalizadas. Esta formulación toma como base el problema de enrutamiento de vehículos (VRP), con la variante de incluir puntos no considerados.

*Palabras clave:* Planes turísticos; Problema de enrutamiento de vehículos; Modelación matemática.



## Mejora en la gestión del almacenamiento de componentes para el armado de prototipos mediante la aplicación de modelos de programación lineal entera

Miriam Echegaray Tapia<sup>1</sup>, Gaston Vertiz Camaron<sup>1</sup>, Jenaro Nosedal Sánchez<sup>2\*</sup> y Ana María De León Almaraz<sup>3</sup>

(1) Facultad de Ingeniería de la UAEMex, Toluca, Edo. Mex.

(2) Catedrático CONACYT-UAEMex.

(3) Asesor externo de la Facultad de Ingeniería de la UAEMex.

\*Correo electrónico: jnosedal@conacyt.mx

### Resumen

El almacenamiento es reconocido como un proceso crítico para la gestión eficaz de la cadena de suministro. En el presente trabajo, se analiza la problemática existente y posibles mejoras en un almacén de materia prima que contempla componentes para el armado de prototipos. El almacén es gestionado por una empresa del ramo automotriz para el acopio de estos componentes, por lo que la configuración de cada orden de compra o proyecto es muy variable en composición y volumen. Con el propósito de evitar paros innecesarios en la producción programada y asegurar que los tiempos de entrega se cumplan, es vital que dichos componentes, para cada orden o proyecto, se tengan completos y disponibles de manera oportuna, más allá de que los mismos estén almacenados, pues éstos deben estar localizables y accesibles. De acuerdo con la operación actual, la empresa considera que requiere hacer el uso más eficiente del espacio disponible y mejorar las condiciones de acomodo para realizar de manera más rápida la recolección de los componentes que deben ingresar a la línea de producción. Para tal fin, se propone mediante programación lineal entera, el desarrollo y solución de dos modelos de optimización; el primer modelo busca incorporar la máxima cantidad de componentes en cinco tipos de charola, empleadas para acomodar los componentes dentro del almacén, de tal modo que se maximiza la densidad de almacenamiento. El segundo modelo busca minimizar el número de charolas por cada orden de compra, de tal modo que se minimiza el volumen que ocupa el total de componentes almacenados de cada proyecto u orden de compra. Con los resultados obtenidos, se resuelven y analizan varias instancias que representan la demanda de espacio para el almacén en un horizonte determinado de tiempo. De este modo, con ambos modelos es posible determinar de manera precisa y optimizada la capacidad de almacenamiento requerida en función del programa de producción planeado.

*Palabras clave:* Optimización; espacio; almacén; prototipos automotrices; charola de almacenamiento.

## Asignación de volúmenes de compra entre proveedores de empaque a través de la aplicación de una metodología híbrida de simulación y optimización.

Marlenne Cruz Romero<sup>1\*</sup>, José Concepción López Rivera<sup>1</sup>, Jenaro Nosedal Sánchez<sup>2\*</sup> y Ana María De León Almaraz<sup>3</sup>

(1) Facultad de Ingeniería de la UAEMex, Toluca, Edo. Mex.

(2) Catedrático CONACYT-UAEMex.

(3) Asesor externo de la Facultad de Ingeniería de la UAEMex.

\*Correo electrónico: mcruzr011@alumno.uaemex.mx

### Resumen

Debido a que en cualquier proceso productivo o de servicios es necesario que el abastecimiento de materia prima y/o componentes sea en el momento correcto, al costo correcto, en la cantidad correcta y con la calidad deseada, el proceso de selección de proveedores es considerado como una actividad crítica en la gestión de la cadena de suministro.

En este trabajo se estudia una problemática actual relacionada con el suministro de volúmenes pequeños de empaque para prototipos de sistemas de gasolina fabricados por una empresa proveedora de la industria automotriz.

El empaque representa un insumo estratégico para la empresa, ya que tiene un alto impacto para la preservación de la calidad del producto terminado durante su traslado para su aceptación final por parte del cliente. Con la finalidad de que los prototipos lleguen en óptimas condiciones al consumidor final, es indispensable llevar a cabo el proceso de selección de proveedores que cumplan con las especificaciones establecidas para la fabricación del empaque.

Adicionalmente, la adquisición de los empaques es un proceso crítico para la empresa dada la escasez de proveedores que pueden cumplir y ofrecer el suministro en volúmenes pequeños a precios competitivos.

El presente trabajo propone como solución el uso de programación matemática entera para determinar la asignación de los volúmenes de compra entre los proveedores de empaque disponibles, de acuerdo con la definición de los volúmenes mínimos de compra de los diferentes tipos de empaque y los precios que cada proveedor ofrece, así como los volúmenes de empaque que demanda cada orden.

De acuerdo con la operación actual y con base en los datos históricos analizados, la demanda de prototipos de sistemas de gasolina que se observa es muy variable, en consecuencia, la demanda de empaques, directamente dependiente, también lo es. La metodología propuesta considera a la demanda como estocástica y con la finalidad de estimar los volúmenes de empaque requeridos al año, se simula a partir de la distribución empírica de las órdenes y sus volúmenes.

Con la información de la demanda simulada, se solucionan diferentes instancias utilizando el modelo de programación lineal entera para asignación de volúmenes de compra de empaque para cada tipo de producto. Con los resultados obtenidos de diferentes escenarios de demanda de prototipos de sistemas de gasolina se establece la cantidad de compra a proveedores por tipo de empaque, garantizando que dicha asignación satisface los volúmenes de empaque requeridos minimizando el costo de la compra total.

*Palabras clave:* Selección de proveedores; Simulación; Modelo de asignación; Programación lineal entera.

## Análisis de diferentes soluciones para un problema bi-nivel de logística humanitaria

Edith Salinas de León<sup>1\*</sup> y José Fernando Camacho Vallejo<sup>1</sup>

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

\*Correo electrónico: edithsalinas95@gmail.com

### Resumen

Después de haber ocurrido algún terremoto, tsunami, huracán, epidemia, escasez de alimentos, entre otras situaciones de catástrofe, la logística humanitaria tiene como objetivo ayudar de la mejor manera a las personas afectadas. Por lo tanto, el objetivo de la logística humanitaria es el proporcionar ayuda a las personas que la necesitan de una forma rápida y eficiente, tomando en cuenta las limitaciones que se tengan de acuerdo a cada situación. En muchas ocasiones, es impredecible predecir la ocurrencia de un desastre natural, y las personas e infraestructura de muchos lugares no se encuentran preparados para afrontar este tipo de situaciones. Por esta razón, es de suma importancia el estudio de problemas que puedan surgir después del impacto de un desastre natural.

En esta charla se discute un modelo de programación de bi-nivel aplicado a la logística humanitaria. En el nivel superior, una organización federal toma la decisión de distribuir el presupuesto para desastres naturales. Luego, el gobierno estatal decide cómo emplear esos recursos, es decir, dónde ubicar los centros de distribución y cómo distribuir la ayuda para minimizar el tiempo de respuesta de los costos operativos. El nivel inferior del problema aquí estudiado considera dos funciones objetivo, simultáneamente. Por lo tanto, para una decisión fija del líder, la reacción racional del seguidor está dada por un conjunto de soluciones eficientes.

Para un problema de optimización bi-nivel con un solo objetivo en el nivel superior y múltiples objetivos en el nivel inferior, se define solución optimista como la solución que optimiza la función objetivo del nivel superior sobre el conjunto de soluciones eficientes del nivel inferior. Es decir la solución optimista indica al líder su máximo beneficio cuando la decisión del seguidor es la mejor para el líder. La solución pesimista es la solución que optimiza la función objetivo del nivel superior dentro del subconjunto de soluciones factibles del nivel inferior que son las “peores para el líder”, es decir, la solución pesimista es la que da el máximo beneficio para el líder cuando la decisión del seguidor es la peor para el líder. Solución engañosa, esta solución indica el riesgo máximo que el líder incurre si adopta un enfoque optimista. En otras palabras, cuando se toma un enfoque optimista y el líder toma una decisión optimista y la reacción del seguidor está en contra de los intereses del líder, es decir, una solución que resulta de una falla del enfoque optimista. Por otro lado, si el líder toma un enfoque pesimista, y la reacción del seguidor es la más favorable para el líder se le llama solución gratificante Alves et al. (2017). Se expondrá detalle las características de dichas soluciones y se dará una metodología eficiente para obtenerlas.

### Referencias

Maria Joao Alves y Carlos Henggeler Antunes. A semivectorial bilevel programming approach to optimize electricity dynamic time-of-use retail pricing. *Computers and Operations Research*, vol, 92, pp. 130-144, 2017.

## Optimizando el emparejamiento de jueces en un concurso de carne asada

José-Fernando Camacho-Vallejo<sup>1\*</sup> y Carlos Corpus<sup>1</sup>

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

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

### Resumen

En Monterrey, Nuevo León cada año se lleva a cabo el concurso de carne asada más grande de Latinoamérica. Debido al alcance de este concurso, involucra una logística muy grande y muchos temas importantes por embonar. Por ejemplo, una de las partes principales para garantizar el éxito es tener un sistema de jueces justo que permita evaluar correctamente a los participantes.

En este concurso, los participantes compiten en tres categorías: res, cerdo, y aves o mariscos. En cada una de ellas hay jueces especialistas que se encargan de evaluar los platillos, la evaluación se hace por pares. Para esto, hay un conjunto de jueces voluntarios que vienen de varias partes de la república, así como de otros países. El perfil de los jueces es muy variado, hay chefs, dueños de restaurantes, influencers, taqueros, expertos en comida urbana, entre otros. Es evidente que cada juez podrá tener expertiz en más de una categoría pero solamente podrá participar en una de ellas. Entonces, primero se va a resolver un problema de asignación para decidir los jueces que van a evaluar en cada categoría. Una vez que se tiene esta partición, se procederá a realizar las parejas de jueces. Para realizar el emparejamiento se toman en cuenta los perfiles de cada juez y se espera balancear las parejas para que no queden muy sesgadas. Es decir, parejas conformadas por chefs serán más estrictas que parejas de influencers. Además, hay que cuidar aspectos cualitativos entre los jueces para que puedan realizar su labor de la mejor manera posible.

En esta charla se platicará más a detalle estos problemas, se presentarán sus modelos matemáticos y la solución real que se va a implementar en el concurso de este año. El objetivo es mostrar el uso de la investigación de operaciones para tomar decisiones óptimas en un contexto un tanto inusual, y de paso mejorar la credibilidad de este tipo de concursos, en relación al tema de jueces.

## Planificación de producción en sistemas de inyección de plásticos

Karla I. Cervantes-Sanmiguel<sup>1\*</sup>, Magdalena J. Vargas-Flores<sup>1</sup>, Omar J. Ibarra-Rojas<sup>1</sup>

(1) Facultad de Ciencias Físico Matemáticas Universidad Autónoma de Nuevo León.

\*Correo electrónico: karla.cervantes@outlook.com

**Resumen**

La planificación de la producción en las empresas se considera de suma importancia debido al impacto económico positivo que se obtiene al realizar un buen uso de los recursos materiales y de tiempo. El proceso de manufactura que se considera en este estudio está basado en el moldeo por inyección de plásticos, el cual se encuentra presente en muchas industrias que trabajan con polímeros y metales. Los elementos que interactúan en el proceso de producción se ilustran en el lado izquierdo de la Figura 1, los cuales consisten en productos que tienen que ser fabricados para venta en un periodo de planificación. Estos productos se componen de ciertas piezas plásticas que a su vez, requieren el uso de algunos moldes que pueden ser instalados (considerando un tiempo de pre-procesamiento) en máquinas compatibles de inyección de plásticos, para las actividades de moldeo que generan las piezas. Por otro lado, como se ilustra en el lado derecho de la Figura 1, cada molde es un recurso único por lo que no puede utilizarse en diferentes máquinas al mismo tiempo (similar a Chen and Wu, 2006 que también consideran el uso de equipo auxiliar en sistemas de producción).

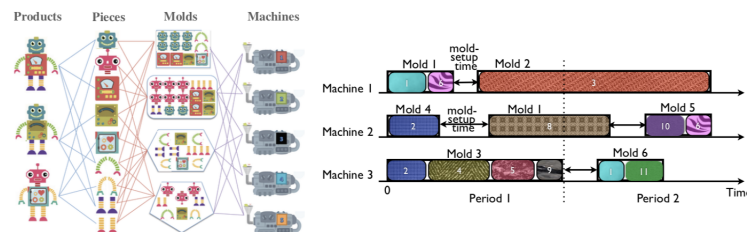


Figura 1: Compatibilidad de los elementos involucrados en el sistema de manufactura y secuencia de producción factible donde los números dentro de los moldes representan la pieza que se está fabricando (Ibarra-Rojas, *et al.*, 2011).

En base a lo anterior, nuestro problema de optimización de Planificación en Sistemas de Moldeo (PSM) consiste en determinar el tamaño de lote de cada producto y la secuencia de producción en cada de máquina de inyección para maximizar las ganancias totales. Como los productos son ensamblados por un conjunto de piezas, las decisiones implícitas en el problema son la cantidad total de ciclos de moldeo que tienen que realizarse con cada combinación (pieza, molde, máquina), así como el instante de tiempo en que empieza a procesarse un molde en una máquina de inyección. Lo anterior, considerando restricciones de tiempo límite de máquina, precedencia para piezas fabricadas con un mismo molde y no exceder la demanda de cada producto. Es decir, proponemos, una integración de los problemas de dimensionamiento de lote y secuenciación en máquinas paralelas el cual comúnmente se resuelve mediante métodos secuenciales o descomposición (ver Quadt & Kuhn, 2008 y Meyr & Mann, 2013).

Definimos una formulación entera-mixta lineal para el problema PSM y un método de solución secuencial para generar soluciones factibles, el cual primero resuelve un problema de dimensionamiento de lote que no considera las decisiones de secuenciación, y después resuelve una versión reducida del PSM en base a la información de la solución del primer problema. Los resultados numéricos usando solver comercial con la formulación integral muestran que es posible obtener soluciones de buena calidad (3.05 % de gap promedio) en menos de una hora de tiempo de cómputo para instancias de hasta 300 productos, 100 piezas, 150 moldes y 50 máquinas. Sin embargo, la convergencia del solver a buenas soluciones es más lenta para instancias de mayor tamaño, por lo que analizamos nuestro método secuencial como alternativa para generar soluciones factibles en un menor tiempo, las cuales también son utilizadas como solución inicial al resolver la formulación de PSM con el solver comercial.

**Referencias**

- Chen, J. F., Wu, T. H. (2006). Total tardiness minimization on unrelated parallel machine scheduling with auxiliary equipment constraints. *Omega*, 34, 81-89.
- Quadt, D., Kuhn, H. (2008). Capacitated lot-sizing with extensions: a review. *4OR: A Quarterly Journal of Operations Research*, 6, 61-83.
- Ibarra-Rojas, O., Ríos-Mercado, R., Ríos-Solis, Y., Saucedo-Espinosa, M. (2011). A decomposition approach for the piece-moldmachine manufacturing problem. *International Journal of Production Economics*, 134, 255-261.
- Meyr, H., Mann, M. (2013). A decomposition approach for the general lotsizing and scheduling problem for parallel production lines. *European Journal of Operational Research*, 229, 718-731.

## Modelo de programación entra mixta de una red de logística inversa con demanda estocástica

Araceli López y López<sup>1</sup>, Nayeli Onofre Ríos<sup>1</sup>, Rogelio González Velázquez<sup>2</sup>, María Beatriz Bernabé Lóranca<sup>2\*</sup>, Gerardo Martínez Guzmán<sup>2</sup> y Martín Estrada Analco<sup>2</sup>

(1) Universidad Autónoma de Tlaxcala.

(2) Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

\*Correo electrónico: beatriz.bernabe@gmail.com

### Resumen

El propósito de este trabajo es el planteamiento de un modelo matemático de programación entera mixta de una red de logística inversa y su implementación en código Lingo donde se analiza la solución en distintos escenarios de prueba generados aleatoriamente. Los casos que se analizan tienen variantes en cuanto al número de escalones y del número de productos, así como demanda estocástica. Para este caso se establecen operaciones relacionadas con la reutilización de productos y materiales incluyendo las actividades logísticas de recolección, desensamble y proceso de materiales, productos usados, y/o sus partes, para asegurar una recuperación ecológica sustentable. Se busca minimizar los costos de envío de los productos devueltos y los costos de apertura de centros de desensamble, procesamiento y se analiza la decisión de abrir una o más instalaciones. Se estiman que los resultados contribuyan a realizar una adecuada planeación, ejecución y control de los flujos de productos, información y dinero entre los diversos procesos considerados dentro de la logística inversa que permitan la generación de valor y reducción de costos de operación.

A través de un modelo matemático de optimización estocástico con cinco instalaciones y seis escalones ha sido posible desarrollar el conjunto de pruebas. Considerando el modelo propuesto, se generó una instancia con dos centros de manufactura, dos centros de reciclaje, cuatro centros de procesamiento, cuatro centros desensamblen y tres centros de retorno donde el límite máximo de los centros de desensamble que se tiene que abrir debe ser tres y los centros de procesamiento a abrir son tres para cada parte o producto.

En la instancia se realizó una simulación con diferentes niveles de confianza para las distintas variables, es decir, se determinó un valor mínimo para la estocástico dependiendo de la cantidad de productos recopilados en los centros de retorno y, por otro lado, se consideró que dicho nivel sea menor que 1. Por otra parte, se indicó cuáles de los centros se deben de aperturar observándose que al cambiar el nivel de estocástico no hay variación en la apertura de los mismos, ya sean de desensamble o procesamiento. El modelo señala que la cantidad enviada del producto 3 desde el centro de retorno 3 al centro de procesamiento 4 al centro de reciclaje 2 es independiente al nivel de estocástico. Esto significa que el único producto que no se desensambla pasa igual a los demás centros o bien no requiere de un costo extra por no pasar a los centros de desensamble. También se concluye, que la cantidad enviada desde el centro de retorno 1 al centro de desensamble 3 del producto 1 y 2 no es afectada, sin embargo, solo se mantiene constante la parte C enviada del centro de desensamble 3 al centro de reciclaje 1 para los diferentes niveles de estocástico.

## Equilibrium in a Financial Model as a Stackelberg game

José G. Flores-Muñiz,<sup>1</sup> Viacheslav Kalashnikovs<sup>2</sup> y Nataliya Kalashnykova<sup>1</sup>

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

(2) Tecnológico de Monterrey (ITESM), Campus Monterrey, Monterrey, Nuevo León.

\*Correo electrónico: jose.floresmz@uanl.edu.mx

### Abstract

In this work a general multi-sector, multi-instrument model of financial flows and prices is considered. The utility function for each sector is assumed to be quadratic and the constraints satisfy an accounting identity that appears in flow-of-funds accounts. This is modeled a multi-leader-multi-follower Stackelberg game where the set of sectors is both, the set of leaders in the upper level and the set of followers in the lower level. In the upper level each sector makes conjectures of its influence upon the price of each instrument, while in the lower level (according to their conjectures) these sectors determine its composition of instruments held as assets and as liabilities. In both, the upper level and the lower level, the sectors want to minimize the risk while at the same time maximizing the value of its asset holdings and minimizing the value of its liabilities. The existence of a solution for the lower level is shown while conditions for the uniqueness of the lower level solution and the existence of an upper level solution are given. Finally, a concept of consistent conjectures is introduced. The results obtained are an extension from (Kalashnikov et al., 2015).

### References

V.V. Kalashnikov, N.I. Kalashnykova, F.J. Castillo-Pérez. Finding Equilibrium in a Financial Model by Solving a Variational Inequality Problem. In: Le Thi H., Pham Dinh T., Nguyen N. (eds) Modelling, Computation and Optimization in Information Systems and Management Sciences. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 359. Springer, Cham. ISBN 978-3-319-18160-8.

## Multi-objective Design of Balanced Sales Territories

Elias Olivares-Benitez<sup>1</sup>, Diego Flores Díaz<sup>1</sup>, Samuel Nucamendi-Guillen<sup>1</sup>, María Beatriz Bernábe Loranca<sup>2</sup> y Santiago Omar Caballero Morales<sup>3</sup>

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

(2) Facultad de Ciencias de la Computación, Benemerita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, Puebla.

(3) Posgrado en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla A.C., Puebla, Puebla.

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

### Resumen

El diseño de territorios de ventas es una actividad importante en la gestión de servicios para mejorar la asignación de la fuerza de ventas dentro de los territorios. Dado que la cobertura geográfica, el desempeño de la fuerza de ventas y la efectividad de la organización de ventas dependen de la asignación de la fuerza de ventas, el diseño de los territorios debe realizarse teniendo en cuenta múltiples criterios. Este trabajo presenta un modelo multi-objetivo para el rediseño de territorios de ventas, asumiendo una situación inicial donde los vendedores ya tienen fija su localización base. Se consideraron tres objetivos principales para llevar a cabo la tarea de rediseño: balanceo de ventas, balanceo de carga de trabajo y balanceo de cobertura geográfica. La varianza entre territorios se consideró como la métrica para el equilibrio de las ventas y de la carga de trabajo. Para el balanceo de la cobertura geográfica, la métrica es la suma de distancias asignadas a cada vendedor, para todos los vendedores. El cálculo de la varianza introduce una ecuación no lineal, que agrega complejidad para resolver del modelo de forma óptima. El modelo multi-objetivo se resuelve con el método de pesos. Primero se resuelve una optimización por separado para cada una de las funciones objetivo, para determinar valores máximos para realizar una normalización. Se aplica una normalización decimal (potencias de 10), y se varían los pesos en 5 % para cada función en cada iteración, con una suma de pesos del 100 %. Del conjunto de soluciones obtenidas se eliminan las soluciones dominadas. Se resolvieron instancias correspondientes a las zonas de Aguascalientes, Chihuahua, Guadalajara, Mérida, México, Monterrey, Torreón y Veracruz. Para cada combinación de pesos se resolvió el modelo con GAMS-BARON con un límite de tiempo de 100 segundos. Se muestran en los resultados los frentes de Pareto obtenidos y algunos mapas de las asignaciones obtenidas. Como trabajo futuro se propone el uso de una metaheurística, y la integración de este problema con uno de ruteo para la secuenciación de visitas periódicas de los vendedores.



## Optimización de rutas de reparto con ventanas de tiempo establecidas y múltiples viajes por vehículo

María José González<sup>1</sup>, Omar G. Rojas<sup>2</sup>, Elías Olivares<sup>1</sup> y Samuel M. Nucamendi<sup>1</sup>

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

(2) Escuela de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad Panamericana, Zapopan, Jalisco.

\*Correo electrónico: 0171392@up.edu.mx

### Resumen

El problema de este estudio consiste en encontrar las mejores rutas de reparto para satisfacer la demanda de los clientes con las condiciones de tiempo establecidas por cada uno de ellos. Este problema es conocido en la literatura como Problema de Ruteo de Vehículos con Ventanas de Tiempo (VRPTW). Este desarrollo es importante porque se implementará en una empresa que busca la minimización de costos de entrega. La complejidad en la aplicación de este modelo radica en la necesidad de la empresa de utilizar la menor cantidad de vehículos posibles. Dada esta característica se debe de integrar al VRPTW la capacidad de generar viajes múltiples por vehículo. Esto se logra por medio de la introducción de nodos ficticios que simulan el depósito con la capacidad de entrar y salir de ellos, a diferencia del nodo final al cuál solamente se puede entrar.

Las instancias generadas para este problema son proporcionadas por una empresa del sector de productos alimenticios, se establecen coordenadas para cada uno de los clientes, se definen demandas de forma uniformemente aleatoria, y ventanas de tiempo duras para cada cliente con un horizonte de planeación de ocho horas (establecido en la ventana de tiempo superior del depósito). Se debe de cumplir con los requerimientos de tiempo y demanda para cada uno de los clientes. Es decir, no existe priorización entre ellos. Se solucionará por medio del modelo entero mixto con los ajustes necesarios para su correcta implementación para este problema. Como alternativa se desarrollará un algoritmo metaheurístico para obtener resultados de alta calidad en tiempos computacionales razonables para escenarios de gran tamaño.

Los resultados obtenidos muestran que el modelo actualmente es capaz de resolver instancias de máximo 25 clientes en un tiempo límite de una hora, mientras que el algoritmo proporciona soluciones de alta calidad en tiempos significativamente menores. En base a esto, concluimos que con la implementación de la metaheurística podemos esperar soluciones a instancias reales de hasta 100 clientes.

## Problema de enrutamiento de vehículos con ventanas de tiempo para los clientes y base

José Sánchez<sup>1\*</sup>, Omar G. Rojas<sup>1</sup>, Elias Olivares-Benitez<sup>1</sup> y Samuel Nucamendi-Guillén<sup>1</sup>

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

\*Correo electrónico: 0179149@up.edu.mx

### Resumen

El problema de enrutamiento de vehículos con ventanas de tiempo (vehicle routing problem with time windows, VRPTW) es una variación del ya ampliamente conocido VRP (vehicle routing problem), añadiéndole complejidad tras agregar restricciones asociadas a determinados sistemas en donde es necesario visitar a cada cliente en un horario definido (time windows). La recolección de muestras de laboratorio de diferentes ubicaciones o clientes al sitio de análisis clínicos es un ejemplo muy claro de éste tipo de sistema. Esta investigación reside en la adición de ventanas de tiempo para la base.

Es necesario añadir ventanas de tiempo en la base debido a restricciones del sistema en donde se tiene que comenzar con el procesamiento antes de cierta hora del día para poder emitir resultados en determinado momento.

Se tiene como parte del producto de la investigación, además del modelo de resolución, implementar una heurística o metaheurística de modo tal que sea factible en términos de tiempo y encontrar una solución para instancias de tamaño real, útil para la empresa.

## Modelado de un Sistema de Transporte de Personal con VRPTW

Arath Figueroa Salomón<sup>1</sup>, Guillermo Sosa Gómez<sup>2</sup>, Adrian Ramirez-Nafarrate<sup>2\*</sup>, Elias Olivares-Benitez<sup>1</sup> and Omar G. Rojas<sup>2</sup>

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

(2) Escuela de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad Panamericana, Zapopan, Jalisco.

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

**Resumen**

En este trabajo se presenta un estudio de utilización de vehículos de una empresa de transporte de personal. Este tipo de sistemas tiene algunas características que dificultan la tarea de los tomadores de decisiones para programar eficientemente sus recursos. Estos factores incluyen: flota no homogénea, dispersión de los puntos de inicio y fin de las rutas, periodos sin demanda durante el día, demanda de viajes especiales, etc. Analizando el desempeño de las políticas actuales, se observa que existe subutilización de los vehículos en algunos viajes, como se muestra en la Figura 1.

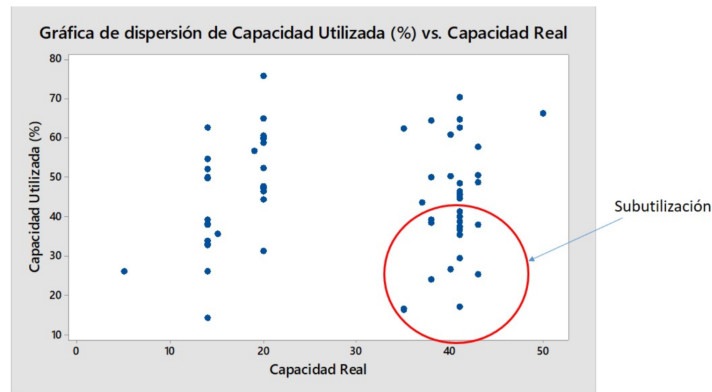


Figura 1: Capacidad utilizada de vehículos

Con base en el análisis de las necesidades del sistema, una primera aproximación consiste en modelar la asignación de vehículos a rutas de transporte de personal como un problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW por sus siglas en inglés).

El VRPTW se define por una flota de vehículos,  $V$ , un conjunto de clientes,  $C$  y un grafo dirigido  $G$ . El grafo consta de  $|C| + 2$  vértices, donde los clientes se denotan  $1, 2, \dots, n$  y el depósito está representado por los vértices  $O$  (el depósito inicial) y  $n + 1$  (el depósito final). El conjunto de todos los vértices, es decir,  $O, 1, \dots, n + 1$  se denota como  $N$ . El conjunto de arcos,  $A$ , representa las conexiones directas entre el depósito y los clientes y entre los clientes. Con cada arco  $(i, j)$ , donde  $i \neq j$  se asocia un costo  $c_{ij}$  y un tiempo  $t_{ij}$ , que pueden incluir el tiempo de servicio en el cliente  $i$ . El vehículo tiene una capacidad  $q$  y cada cliente tiene una demanda y una ventana de tiempo  $[a_i, b_i]$ . Idealmente, un vehículo debe llegar al cliente en el lapso de esa ventana. El modelo contiene dos conjuntos de variables de decisión:  $x$  y  $s$ . Las variables se definen para cada arco  $(i, j)$ , donde  $i \neq j$ ,  $i \neq n + 1$ ,  $j \neq 0$ , y cada vehículo  $k$ :

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{si el vehículo } k \text{ maneja directamente del vértice } i \text{ al vértice } j. \\ 0, & \text{en otro caso.} \end{cases} \quad (1)$$

La variable de decisión  $s_{ik}$  denota la hora en que el vehículo  $k$  comienza a atender al cliente  $i$ . Kallehauge et al. (2005) presenta el modelo matemático y algoritmos de solución del VRPTW. En el modelo propuesto, cada nodo del VRPTW es una ruta de transporte de personal que debe realizarse. Además, el modelo se ha adaptado para considerar algunas restricciones prácticas y objetivos adicionales, tales como flota no homogénea, reducción del tiempo acumulado de viaje sin pasajeros, aprovechamiento de la utilización de los vehículos y satisfacción de operadores y clientes. Los resultados preliminares de este estudio serán expuestos en la charla de este congreso.

**Referencias**

B. Kallehauge, J. Larsen, O.B.G. Madsen y M.M. Solomon. Vehicle routing problem with time windows. Column Generation. 67-98. Springer, 2005. ISBN 9780132440509.

## Determinación de los Parámetros Óptimos de Secado de Papa con Algoritmos Genéticos

Nayeli Montalvo Romeron<sup>1\*</sup> y Aarón Montiel Rosales<sup>1</sup>

(1) Instituto Tecnológico Superior de Purísima del Rincón.

\*Correo electrónico: nayeli.mr@purisima.tecnm.mx

### Resumen

Al menos una vez en el día, todo ser vivo tiene la necesidad de tomar una decisión, el tipo de alimento a ingerir, el color de camisa a usar, el tipo de transporte a emplear, el sistema operativo de la computadora portátil a adquirir para la escuela o el trabajo; por citar algunos ejemplos. En cada una de estas decisiones existen al menos dos alternativas de selección, de no existir la decisión, todo se reduce en seleccionar la opción disponible de manera fehaciente. El proceso de toma de decisiones comienza cuando el decisor se encuentra ante la situación de evaluar diversas alternativas que tendrán un resultado futuro, a partir de criterios económicos, tecnológicos, funcionales, o cualquier otro que refleje una variable de desempeño de interés; bajo el criterio de maximizar sus beneficios, minimizar sus pérdidas o encontrar un valor nominal deseado. En el área industrial, en todo proceso se presentan variables controlables y variables incontrolables. Cuando la empresa inicia operaciones los parámetros de operación son adecuados debido a que se configura a partir de las especificaciones técnicas de la maquinaria. Sin embargo, al paso del tiempo los parámetros de operación no son adecuados debido al el desgaste de la maquinaria, cambios en la materia prima, entre otros factores. El proceso de deshidratado de verduras y frutas es importante para obtener un producto comercializable y de calidad. Las técnicas de Artificial Intelligence (AI) aplicadas de manera eficiente permiten modelar de manera adecuada el espacio de soluciones factibles. El proceso de deshidratado de papa requiere del cumplimiento de ciertas especificaciones, es por ello que a partir de corridas experimentales se analiza el comportamiento de los factores que influyen en la determinación de las características de calidad deseadas: humedad, cantidad de agua y color. A partir del comportamiento de las variables de interés, se construye el modelo matemático el cual es optimizado mediante la aplicación del Multi-Objective Genetic Algorithm (MOGA). Los parámetros obtenidos por el algoritmo se validaron con pruebas de laboratorio, obteniéndose resultados satisfactorios. Con la implementación del MOGA se determinaron los parámetros óptimos de operación de deshidratado de papa, con lo que se apoya al proceso de toma de decisiones en base a tiempo y confiabilidad. El enfoque propuesto puede ser extendido al proceso de deshidratado de otras verduras y frutas

*Palabras clave:* Optimización Multiobjetivo; Diseño de Parámetros; Deshidratación de Papa

## Un Algoritmo Genético para el Problema de Ruteo de Vehículos con Costos Acumulados considerando Índices de Prioridad

Diego Flores Díaz<sup>1\*</sup>, Samuel Nucamendi-Guillén<sup>1</sup>, Elias Olivares-Benitez<sup>1</sup> y Iris Martínez Salazar<sup>2</sup>

(1) Universidad Panamericana. Escuela de Ingeniería. Álvaro del Portillo 49, Zapopan, Jalisco, 45010, México.

(2) Universidad Autónoma de Nuevo León, Posgrado en Ingeniería de Sistemas. Av. Universidad s/n. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, CP 66451, México.

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

### Resumen

El problema de ruteo de vehículos con costos acumulados (CCVRP) es una variante del CVRP cuyo objetivo consiste en minimizar el tiempo de arribo a los clientes en el sistema. Este problema cobra importancia en casos donde es primordial atender nodos, pero de manera diferenciada. Como ejemplo, se pueden considerar situaciones de abastecimiento de ayuda humanitaria en los cuales se prioriza llevar suministros a localidades con diferente nivel de afectación, considerado vehículos que se tienen a disposición inmediata. Este trabajo considera flota heterogénea e introduce un factor de prioridad en la atención de los nodos, analizando el problema con un enfoque biobjetivo. Para resolverlo, se propone un algoritmo genético que genera fronteras de soluciones no dominadas. Resultados preliminares muestran su eficiencia al obtener frentes de Pareto densos en un tiempo computacional razonable, además de buenos valores para métricas multiobjetivo respecto a la frontera eficiente.

## Optimización de tiempos de entrega de materiales de construcción utilizando simulación discreta

Jose Humberto Ablanedo-Rosas<sup>1</sup>, Aaron Guerrero Campanur<sup>2\*</sup>, Elias Olivares-Benitez<sup>3</sup>,  
Jacqueline Yvette Sánchez-García<sup>4</sup> y Juan Enrique Nuñez-Ríos<sup>4</sup>

- (1) Marketing and Management Department, University of Texas at El Paso, El Paso, TX, USA.
  - (2) ITS Uruapan, Tecnológico Nacional de México, Uruapan, Michoacán.
  - (3) Facultad de Ingeniería, Universidad Panamericana, Zapopan, Jalisco.
  - (4) Escuela de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad Panamericana, Zapopan, Jalisco.
- \*Correo electrónico: aaronguerrero@tecuruapan.edu.mx

### Resumen

El objetivo de este documento es estimar la eficiencia operativa de las empresas municipales de agua mexicanas e identificar las variables de contexto que impactan su eficiencia. Se utiliza una base de datos disponible públicamente, que reporta indicadores de operación, financieros y comerciales de los organismos operadores de agua de todo México. Esta base reporta los indicadores para diferentes años, aunque aquí se estudian los últimos datos disponibles correspondientes al año 2016. Se tuvieron que seleccionar solo aquellos organismos que habían reportado información relativa a los indicadores de interés, con un total de 41 organismos distribuidos en 21 estados de México. En particular, se combinan los métodos de análisis envolvente de datos (DEA) y regresión de Tobit en un método de análisis de dos etapas. En la primera etapa se utiliza un modelo de DEA orientado a las entradas para determinar los puntajes de eficiencia. Entonces, la función de distribución corregida de las puntuaciones de eficiencia se estima a través de un procedimiento de bootstrap. Las variables de contexto influyentes significativas se identifican en la segunda etapa por medio de una regresión Tobit. El modelo de regresión considera tres variables de contexto categóricas y dos continuas. Los resultados muestran que tres variables de contexto tienen un impacto significativo en las puntuaciones de eficiencia de las empresas de agua. Algunas recomendaciones gerenciales se extraen del análisis. Se sugiere que los servicios públicos de agua continúen o implementan el tratamiento de aguas residuales, persistan en disminuir y controlar las fugas en toda la red de distribución, y maximicen la cobertura de alcantarillado.

## Diseño de una Política de Inventario para una Planta de Producción de Paneles Solares

Rodrigo Barreto V<sup>1</sup> y Ann Wellens<sup>2</sup>

(1) Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, UAEH-MÉXICO.

(2) Facultad de Ingeniería, UNAM-MÉXICO.

\*Correo electrónico: rodrigo\_barreto@uaeh.edu.mx<sup>1\*</sup> wann@unam.mx<sup>2</sup>

### Resumen

La toma de decisiones de gestión en empresas productivas es cada vez más importante, debido a la alta competencia y las necesidades del mercado, así como a la globalización y las innovaciones tecnológicas. Para respaldar la toma de decisiones, las empresas pueden auxiliarse de softwares que facilita la toma de decisiones óptimas.

A pesar de que los errores de previsión pueden implicar pérdidas significativas, su impacto financiero sobre las empresas a menudo se descuida, además de tener dificultades en la línea de proceso en el momento de la planificación, programación y control de los recursos involucrados en el sistema productivo. Por lo anterior, conviene que las empresas tengan un sistema para predecir adecuadamente las necesidades materiales y generar políticas ideales de inventario a través de un modelo de predicción adecuado. El presente documento describe el uso de diferentes herramientas para generar un sistema de predicción de la demanda que al mismo tiempo genera políticas de seguridad en los inventarios de insumos y productos finales de una compañía que fabrica paneles solares.

En una primera etapa se empleó el análisis ABC, para determinar los productos críticos de la empresa con base en el criterio de ventas anuales de cada producto; posteriormente, se evaluaron diferentes sistemas de pronósticos para determinar el sistema que mejor se adapte al comportamiento de la demanda de cada uno de los productos identificados en el análisis ABC, con la finalidad de disminuir los errores en el pronóstico para el siguiente periodo. El siguiente paso fue la evaluación de diferentes sistemas de inventario para decidir cuál es el más conveniente para la empresa, considerando que el uso de una política de inventario adecuada evitará la escasez de materiales y excedentes, así como el impacto que cada uno de ellos tiene en la tasa de producción de la empresa. Por último y utilizando la política de inventario óptima de la compañía como base, la operación diaria se optimiza utilizando la simulación basada en objetos y el software de simulación SIMIO. El modelo de simulación permitirá a los responsables de tomar las decisiones, analizar los mejores escenarios de producción, en particular con respecto al volumen de producción y la combinación de productos, así como el uso óptimo de los recursos disponibles y el costo mínimo para cada producto.

### Referencias

García, J. A. (2013) Metodología para la planeación de la producción utilizando simulación y programación entera. Magister dissertation. Universidad Nacional Autónoma de México 2013.

Gutierrez-González, E. P.-O. Aplicación de un modelo de inventario con revisión periódica para la fabricación de transformadores de distribución. Ingeniería Investigación y Tecnología, (13):537-551., 2013.

Jeon, S. M., Kim, G. A survey of simulation modeling techniques in production planning and control (PPC). Production Planning and Control 27(5), 360-377. 2016.

Pedgen, C. SIMIO: A new simulation system based on intelligent objects. Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference 2293-230. 2007.

Peña, G. H. Proceso no automatizado de fabricación de paneles fotovoltaicos: el primer paso hacia la automatización de la industria fotovoltaica. INNOVACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO. ´ 2017.

Ruiz-Torres, A Safety stock determination based on parametric lead time and demand information. International Journal of Production Research, 2841-2857, 2010

## Optimización de tiempos de entrega de materiales de construcción utilizando simulación discreta

Jorge J. Corona<sup>1\*</sup>, Erick Ortiz<sup>1</sup>, Rodolfo E. Pérez<sup>1</sup> y Erick Montiel<sup>1</sup>

(1) Dpto. de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Apizaco, Tlaxcala, México

\*Correo electrónico: jorge14live@hotmail.com

### Resumen

El análisis de diversos escenarios, el establecimiento de planes de contingencia ante situaciones como retrasos de suministro o stocks, averías de máquinas, etc.; actualmente son perfectamente solubles con sistemas informáticos de alto nivel (Tejero y Martín, 2007). Parte de estos sistemas informáticos son los programas de simulación, los cuales permiten simular y optimizar casi cualquier tipo de sistemas de manufactura, logística, servicios, call centers, manejo de materiales, etc. En este trabajo se describe el uso de la simulación discreta para optimizar el tiempo de entrega de materiales de construcción de una distribuidora hacia cuatro comunidades pertenecientes al municipio de Panotla, Tlaxcala.

El proyecto de simulación contemplo 8 etapas para su desarrollo, en el cual se crearon dos modelos de simulación discreta. El primer modelo consistió en la imitación del comportamiento actual de la distribuidora para la entrega de los materiales, la cual utiliza un solo camión de remolque modelo C-60 (1968) marca Chevrolet de 6m<sup>3</sup> de capacidad. Además, fue necesario el uso de la herramienta de Google Maps para obtener las rutas y distancias correspondientes entre la distribuidora, los proveedores y los clientes; siendo estos datos parte de la entrada del software de simulación. Para realizar la validación se compararon y evaluaron los resultados de este modelo con respecto al comportamiento actual de los distintos procesos de la distribuidora en un lapso de un mes, obteniendo resultados coherentes en cuanto al tiempo de demora actual en la entrega de materiales por parte de la distribuidora, que es de 6 días. Una vez se dispone de un modelo correcto, este puede ser utilizado para analizar y evaluar como afectarían ciertos cambios al rendimiento del sistema, antes de que dichos cambios sean aplicados en el sistema real (Piera et al., 2006). El segundo modelo permitió analizar la factibilidad de la apertura de un nuevo centro de distribución en una comunidad aledaña a los clientes, un tercer modelo contemplo la adquisición de un camión + la apertura de un nuevo centro de distribución, reduciendo el tiempo de demora en la entrega de materiales y maximizando las utilidades de la distribuidora.

En la Tabla 1 se comparan los resultados del modelo del escenario actual (escenario A) con el modelo del que contempla la apertura de un nuevo centro de distribución (escenario B) y el modelo que considera la apertura de un nuevo centro de distribución + la adquisición de un camión (escenario C). Los resultados de la simulación del primer modelo (B) versus el escenario actual (A) muestran una disminución de 3 veces en el tiempo de espera promedio y cantidad de pedidos no entregados, mientras que la simulación del segundo modelo (C) es favorable al obtener un aumento en un 400% la cantidad de entrega de pedidos y la reducción del tiempo de espera promedio de días (152.51) a horas(0.395).

Pedidos	Tiempo de Espera Promedio (Hrs)			Cantidad de Pedidos Entregados			Cantidad de Pedidos No Entregados		
	Esce. A	Esce. B	Esce. C	Esce. A	Esce. B	Esce. C	Esce. A	Esce. B	Esce. C
Piedra	145.7	47.2	0.58	29	156	137	118	58	4
Arena	169.02	53.32	0.35	24	87	111	87	30	0
Grava	136.02	55.95	0.33	39	92	117	152	28	0
Tepezil	159.33	56.65	0.32	11	61	90	66	21	0
TOTAL	152.5175	53.28	0.395	103	396	455	423	137	4

Los resultados de la simulación de los dos modelos (B y C) ayudaron a la distribuidora en la toma de decisiones en cuanto a la adquisición, renta o convenio de camiones de volteo, así como analizar la posible construcción de un centro de distribución para reducir los tiempos de demora en la entrega de pedidos y con ello aumentar la satisfacción de sus clientes.

### Referencias

J.J.A. Tejero y S.P. Martín. Innovación y mejora de procesos logísticos: Análisis, diagnóstico e implantación de sistemas logísticos. Esic Editorial, 2007. ISBN 978-84-7356-520-2.

M.A. Piera, T. Guasch, J. Casanovas y J.J. Ramos. Cómo mejorar la logística de su empresa mediante la simulación. Ediciones Díaz de Santos, 2006. ISBN 978-84-7978-738-7.



## Gestión del inventario de una planta de producción de remolques con demanda intermitente

Pamela A. Rosales<sup>1\*</sup>, Ann G. Wellens<sup>1</sup>, Esther Segura<sup>1</sup>

(1) DIMEI-FI, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México

\*Correo electrónico: pam\_arb@comunidad.unam.mx

### Resumen

Es común que las empresas desconozcan las ventajas que se tienen al gestionar de forma correcta su inventario, lo que ocasiona problemas de falta o exceso de inventario y que en ambos casos conlleva a costos. Adquirir la cantidad de inventario necesario, que a su vez le permita a una organización alcanzar y/o superar el target de ventas trazado, no es una tarea sencilla. Este artículo describe el desarrollo de un proyecto para la empresa mexicana CONSTRUCTORA DE SILVA S.A. DE C.V., dedicada a la fabricación de remolques y semirremolques. En este proyecto se trabajará con el pronóstico de la demanda, para proponer una solución a la preocupación de la empresa para contar con inventarios exactos en sus almacenes. Este procedimiento podría posibilitar una mayor eficiencia en cuanto a operatividad, ya que el negocio contaría con la capacidad de planificar sus actividades a futuro.

*Palabras clave:* Pronóstico; Inventario; Demanda

## Marco metodológico de un modelo de evacuación dinámica para evacuaciones en caso de huracanes

José Luis López Cervantes<sup>1</sup>, Javier García-Gutierrez<sup>1\*</sup>, José Concepción López Rivera<sup>1</sup> y Javier Romero-Torres<sup>2</sup>

(1) Facultad de Ingeniería, UAEMéx, Toluca, México. (2) Centro Universitario Nezahualcóyotl, UAEMéx, Nezahualcóyotl, México.

\*Correo electrónico: jgarciag@uaemex.mx

### Resumen

El cambio climático ha modificado la intensidad y frecuencia de fenómenos naturales, en el caso de eventos hidrometeorológicos como los huracanes, estos han incrementado su magnitud haciendo más vulnerables las zonas costeras y causando graves afectaciones cuando no se tiene o no se aplica de forma eficiente un plan de contingencia. En la planeación estratégica pos-desastre la dificultad de la evacuación de personas es debido a las ventanas de tiempo cortas, los recursos tecnológicos escasos y las condiciones cambiantes de la movilización de las personas evacuadas, por lo que se requieren estrategias para reducir así dichos tiempos de evacuación.

Entre los enfoques utilizados la gran mayoría ha considerado características estáticas ignorando la variabilidad en el proceso con respecto al tiempo. Las herramientas de modelación dinámica sí lo consideran explícitamente, y han aportado suficiente precisión a soluciones de tráfico urbano, donde la periodicidad y duración de ciertas condiciones en el tráfico, son el factor principal de análisis. En este trabajo se plantea un marco metodológico para la utilización de modelos dinámicos para la evacuación ante la ocurrencia de huracanes, donde se consideran la variabilidad del flujo y la capacidad de las vialidades e intersecciones, con el fin de conocer el efecto de la teoría del equilibrio dinámico y poder así evaluar su aptitud con respecto a los recursos tecnológicos y de movilidad existentes para un caso de estudio en Salina Cruz, Oaxaca. El marco metodológico presentado considera los siguiente:

(1) El estado de la práctica del tema de evacuaciones en México haciendo hincapié en los contextos de la toma de decisiones. En México existe una Ley General de Protección Civil y leyes de Protección Civil en todas las entidades federativas que establecen el marco de actuación y de coordinación los sectores involucrados. Así, se justifica la existencia del Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) al tiempo que se enmarcan las acciones del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), en el estudio, desarrollo, aplicación y coordinación de tecnologías para la prevención y mitigación de desastres.

(2) La teoría de los modelos dinámicos para la gestión del flujo del tránsito. En el enfoque de flujo de red dinámico los vehículos son representados como valores enteros de flujo que están enlazados con flujos de mercancías en un modelo de red de flujo multi-periodo. Las variables de flujo del vehículo tienen una lista de enlaces y tiempos que indican el tiempo del vehículo en atravesarlos.

(3) La teoría de los modelos de evacuación dinámicos. Se tipificaron para identificar sus alcances y limitaciones en su aplicación a la práctica, sobre todo en contextos de decisiones como en México. Las evacuaciones en caso de huracán se realizan en nuestro país bajo una combinación de vehículos particulares y públicos. La evacuación de personas involucra la gestión del flujo de tránsito de vehículos particulares y frecuentemente son representados con las limitaciones sobre los arcos del flujo vehicular por hora. Por ejemplo, Wolshon y McArdle (2009) resaltan la importancia del uso de tasas máximas de flujo de tráfico de evacuación sostenible para el modelado, y donde consideran restricciones relacionadas a las condiciones del camino, seguridad y accesibilidad, disponibilidad de vehículos, capacidad de refugios, zonas para recoger a las personas, ventanas de tiempo, y flota vehicular. Los modelos de ubicación-asignación se han utilizado en Kongsomsaksakul et al. (2005) para el problema de la planeación en caso de evacuación. Se minimiza el tiempo total para evacuar la red de acuerdo al número y localización de albergues, con restricciones en su capacidad, demanda y la capacidad máxima de los arcos. En los modelos de ruteo clásico del vehículo (Ozdamar y Ertem, 2015) se considera la capacidad de los vehículos para recoger a los evacuados y llevarlos a los albergues, el modelo de enumeración de ruta se utiliza para decidir el número de viajes realizados entre el punto de recolección y el albergue con el objetivo es maximizar el número de evacuados. Los modelos ruteo de localización se han utilizado para una demanda incierta, localización de albergues, determinar el tamaño de la flota de vehículos, y optimizar las rutas de autobuses usando metaheurísticos.

### Referencias

- Wolshon, B. y McArdle, B. Temporospatial analysis of hurricane Katrina regional evacuation traffic patterns. *Journal of Infrastructure Systems*, 15(1):12-15, 2009.
- Kongsomsaksakul, S., Yang, C., y Chen, A. Shelter location-allocation model for flood evacuation planning. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6(1):4237-4252, 2005.
- Ozdamar, L., Ertem, M.A. Models, solutions and enabling technologies in humanitarian logistics. *European Journal of Operational Research*, 244(1):55-65, 2015.

## Ruteo de vehículos escolares: un caso de estudio

Yajaira Cardona Valdés<sup>1\*</sup>, Oliver Avalos Rosales<sup>1</sup> y Mayra Juárez Peláez<sup>1,2</sup>

(1) Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas, Universidad Autónoma de Coahuila.

(2) Facultad de Sistemas, Universidad Autónoma de Coahuila.

\*Correo electrónico: y.cardona@uadec.edu.mx

**Resumen**

La Universidad Autónoma de Coahuila en el año 2010 inauguró un nuevo campus en el municipio de Arteaga Coahuila, el cual se encuentra a 15.7 kilómetros de Saltillo, Ciudad capital del Estado de Coahuila. La Universidad en el año 2011 implementó un servicio de transporte (Lobús) para comunicar a los usuarios del campus Arteaga con el municipio de Saltillo, debido a que el transporte público era muy limitado. Dicho servicio constaba de solo 2 autobuses y era suficiente para cubrir la demanda de los usuarios en ese momento. Sin embargo, se componía de una sola ruta y con una cobertura muy limitada.

En los últimos años, la población estudiantil y el número de usuarios se ha incrementado al establecerse en el campus Arteaga otras tres Facultades. Actualmente, la cantidad de estudiantes es de 3072 y se estima que 2500 son usuarios del Lobús. Sin embargo, la Universidad sigue ofreciendo la misma ruta de transporte y la única modificación que se ha hecho es incrementar el número de camiones (de dos a cuatro) para dar el servicio, pero manteniendo la misma ruta y paradas que en el diseño original.

El problema de ruteo de vehículos escolares (SBRP por sus siglas en inglés) involucra el transporte de estudiantes desde las paradas de autobús hacia sus escuelas. El objetivo es diseñar rutas optimizando una función objetivo de interés. El SBRP al ser una variante del bien conocido problema de ruteo de vehículos (VRP) se clasifica como un problema NP-difícil (Park y Kim (2010)). En la literatura científica se han propuesto desde formulaciones matemáticas hasta algoritmos heurísticos y metaheurísticos para resolver el problema (Schittekat et al. (2013); Soares de Siqueira et al. (2016) y Pacheco et al. (2013)).

En esta plática se proponen un conjunto de nuevas rutas de transporte para dar servicio a la comunidad estudiantil actual del Campus Arteaga de la UAdeC considerando la dispersidad de los estudiantes en la zona metropolitana de Saltillo.

El problema considera un conjunto potencial de paradas y un conjunto de estudiantes, donde cada estudiante puede acceder caminando a una o más paradas, y se dispone de una flota homogénea de vehículos con capacidad conocida. Todas las rutas comienzan en una estación de autobuses central, recorren un conjunto de paradas y culminan en la escuela. Se debe determinar cuáles paradas serán visitadas por los autobuses escolares, así como a qué parada debe caminar cada estudiante y el conjunto de rutas que minimicen la distancia total recorrida por todos los autobuses.

El problema se formula matemáticamente como un modelo lineal entero mixto, el cual es resuelto a través del optimizador comercial CPLEX, sin embargo, sólo es posible resolver a optimalidad instancias de 10 paradas y 50 estudiantes. Actualmente se considera como instancia de caso de estudio de la UAdeC la información correspondiente a una sola Facultad. La instancia consta de 80 paradas y 480 estudiantes. Para dar solución a dicha instancia se diseñó un heurístico constructivo híbrido basado en el algoritmo de Clarke y Wright, en donde la factibilidad de una solución se verifica a través de un modelo matemático que se resuelve en CPLEX. Dado que dicho modelo matemático es llamado en múltiples ocasiones se proponen dos estrategias para reducir el tiempo de cómputo.

**Referencias**

Pacheco, J., Caballero, R., Laguna, M., y Molina, J. (2013). Bi-objective bus routing: An application to school buses in rural areas. *JORS*, 47:397-411.

Park, J. y Kim, B.I. (2010). The school bus routing problem: A review. *European Journal of Operational Research*, 202(2):311-319.

Schittekat, P., Kinable, J., Sorensen, K., Sevaux, M., Spieksma, F., y Springael, J. (2013). A metaheuristic for the school bus routing problem with bus stop selection. *European Journal of Operational Research*, 229(2):518 - 528.

Soares de Siqueira, V., Jorge Ebrahim Lima e Silva, F., Nascimento da Silva, E., Vieira Santos da Silva, R., y Lisboa, M. (2016). Implementation of the metaheuristic GRASP applied to the school bus routing problem. *International Journal of e-Education, e-Business, e-Management and e-Learning*, 6:137-145.

## Representación única de soluciones para el mTSP

Yajaira Cardona Valdés<sup>1\*</sup> y Oliver Avalos Rosales<sup>1</sup>

(1) Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas, Universidad Autónoma de Coahuila.

\*Correo electrónico: o.avalos@uadec.edu.mx

### Resumen

En el problema del agente viajero (TSP por sus siglas en inglés), se quiere determinar el orden en el que se deben visitar  $n$  ciudades, visitando cada una solo una vez, empezando por cualquiera de ellas y regresando al mismo lugar del que se partió, tal que se minimice la distancia total recorrida.

El TSP ha sido uno de los problemas de optimización más estudiados en la literatura científica y se han propuesto múltiples modelos matemáticos, así como heurísticas y metaheurísticas para tratar de resolverlo. El TSP se presenta como un caso particular de muchos otros problemas tales como el problema de múltiples agentes viajeros o mTSP, problemas de secuenciación de tareas con tiempos de preparación dependientes de la secuencia, o problemas de ruteo de vehículos.

Una revisión, clasificación y comparación teórica de diferentes formulaciones para el problema del agente viajero asimétrico es hecha por Oncan et al. (2009), mientras que Roberti y Toth (2012) comparan experimentalmente el desempeño de las formulaciones. De la comparación experimental se observó que el modelo propuesto por Miller et al. (1960) es una de las tres mejores formulaciones para ser usadas directamente en el optimizador comercial CPLEX.

Miller et al. (1960) originalmente propuso sus restricciones de eliminación de subtours (MTZ) sin imponer ninguna cota sobre las variables auxiliares  $u_i$ , estas variables eran números reales arbitrarios representando el orden de una ciudad  $i$ . Más tarde, cotas simples fueron introducidas para restringir los valores de dichas variables tal que  $1 \leq u_i \leq n - 1$  para  $i = 2, \dots, n$ . Roberti y Toth (2012) encontraron que al incluir dichas cotas se incrementa el tiempo computacional de la formulación, sin embargo, en muchos otros problemas al usar restricciones de eliminación de subtours basadas en las MTZ parece ser inevitable la inclusión de cotas, esto debido a que las variables correspondientes representan cantidades de interés como: la carga de un vehículo, el tiempo viajado por el vehículo, etc.

Si se consideran las cotas en el TSP, todas las variables  $u_i$  toman valores enteros y se tiene una representación única de las soluciones, mientras que en otros problemas como el mTSP esto no es necesariamente cierto, por lo que algunos autores han propuesto desigualdades válidas para reducir el espacio de soluciones, aunque sin garantizar una representación única de las soluciones.

En esta plática mostramos nuevos esfuerzos por mejorar el desempeño de formulaciones que emplean las restricciones de eliminación de subtours MTZ para el TSP y el mTSP. Para el TSP proponemos una desigualdad válida que toma ventaja de la representación única de las soluciones, mientras que para el mTSP proponemos dos maneras distintas de obtener una representación única de las soluciones en formulaciones matemáticas de dos y tres índices.

### Referencias

Miller, C. E., Tucker, A. W., y Zemlin, R. A. (1960). Integer programming formulation of traveling salesman problems. *Journal of the ACM (JACM)*, 7(4):326-329.

Oncan, T., Altinel, I. K., y Laporte, G. (2009). A comparative analysis of several asymmetric traveling salesman problem formulations. *Computers & Operations Research*, 36(3):637-654.

Roberti, R. y Toth, P. (2012). Models and algorithms for the asymmetric traveling salesman problem: an experimental comparison. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 1(1-2):113-133.

## The open vehicle routing problem with hiring cost

Efrain Ruiz<sup>1\*</sup> y Valeria Soto<sup>2</sup>

(1) Instituto Tecnológico de Saltillo.

(2) Universidad Autónoma de Coahuila.

\*Correo electrónico: eruiz@itsalttillo.edu.mx

### Resumen

In this work the open vehicle routing problem with hiring cost (OVRPHC) is presented and studied. This new combinatorial optimization problem is an extension of the open vehicle routing problem (OVRP). In the OVRP many authors use a hierarchical objective function that first minimizes the number of vehicles and then minimizes the total traveled distance. Other authors consider only the minimization of the total traveled distance. The OVRPHC considers a hiring cost for each vehicle, which is included in the objective function. In this sense is not longer required to use a hierarchical objective function. A formulation and a cutting plane algorithm to solve the problem are presented. Two sets of benchmark instances from the literature are used to perform the computational experiments. The size of the instances varies from 50 to 440. Every test instance was solved using the formulation and the cutting plane algorithm and their results are compared. As expected, the cutting plane algorithm obtains lower gaps between the lower bound and the best integer solution found than the formulation without cuts. Finally, is worth to mention that the cutting plane algorithm is able to find the optimal solution for 11 of the 14 test instances with up to 50 vertices. Previous research on the OVRP has focused on the development of heuristic solution methods since the problem is of type NP-hard. The OVRP was first proposed by Schrage [6]. Other important works include the one by Fleszar et al. [1], who proposed a variable neighborhood search, the ant colony optimization-based metaheuristic by Li et al. [2], the work by Repoussis et al. [4] which proposes a hybrid evolution strategy, the Bumble Bees Mating Optimization by Marinakis and Marinaki [3], the work by Zachariadis and Kiranoudis [7] and the ILP improvement by Salari et al. [5]. The following table shows the results obtained by the cutting plane algorithm for the OVRP. Column The results show that the cutting plane algorithm is able to find 11 of the 14 of the optimal solutions.

Table 1: Obtained results by the cutting plane algorithm for the OVRP

Instance	n	LB	UB	GAP	CPU
An-32-5	32	499.214	499.214	0.00	14.42
An-33-5	33	444.347	444.347	0.00	27.34
An-37-5	37	488.536	488.536	0.00	12.13
An-37-6	37	583.817	583.817	0.00	963.92
An-38-5	38	474.858	474.858	0.00	23.45
An-39-5	39	538.313	538.313	0.00	40.73
An-39-6	39	535.146	535.146	0.00	24.23
An-44-7	44	625.975	604.212	3.70	3600.00
An-45-6	45	597.282	597.282	0.00	209.16
An-45-7	45	719.070	632.681	12.03	3600.00
An-46-7	46	597.793	597.793	0.00	772.91
An-48-7	48	675.888	643.946	5.49	3600.00
C1-51-5	51	412.960	412.960	0.00	15.85
C6-51-6	51	412.960	412.960	0.00	23.90

### Referencias

- [1] 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.
- [2] XY Li, Peng Tian, and Stephen CH Leung. An ant colony optimization metaheuristic hybridized with tabu search for open vehicle routing problems. *Journal of the Operational Research Society*, 60(7):1012-1025, 2009.
- [3] Yannis Marinakis and Magdalene Marinaki. A bumble bees mating optimization algorithm for the open vehicle routing problem. *Swarm and Evolutionary Computation*, 15:80-94, 2014.
- [4] Panagiotis P Repoussis, Christos D Tarantilis, Olli Braysy, and George Ioannou. A hybrid evolution strategy for the open vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 37(3):443-455, 2010.
- [5] 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.
- [6] Linus Schrage. Formulation and structure of more complex/realistic routing and scheduling problems. *Networks*, 11(2):229-232, 1981.
- [7] 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 híbrido para el establecer una política de inventarios

Diana Diaz Romero<sup>1</sup> y Efrain Ruiz<sup>1\*</sup>

(1) Instituto Tecnológico de Saltillo.

\*Correo electrónico: eruiz@itsaltillo.edu.mx

### Resumen

Este trabajo de investigación presenta la metodología utilizada para el establecimiento de una política de inventarios para una empresa dedicada al ensamble de partes automotrices de alto rendimiento ubicada en la ciudad de Saltillo. Debido a la gran cantidad de productos elaborados por la empresa, el primer paso fue seleccionar aquellos productos que tiene mayor impacto dentro de la empresa. Para ello se utilizaron dos métodos de priorización; el análisis ABC y el método AHP, los cuales permiten clasificar los productos de materia prima de inventario para mejorar la gestión de aprovisionamiento. Una vez que se definieron las partes de materia prima prioritarias, se propuso un modelo de programación entera para establecer cuánto y cuándo ordenar de cada una de ellas. Se presentan los resultados del análisis de priorización, así como los resultados obtenidos con el modelo de programación entera.

*Palabras Clave:* Inventarios; Modelos de flujo en redes; Optimización entera

## A Location-Inventory Optimization Model Design for a Lignocellulosic Biomass Biofuel Supply Chain

Marcela María Morales Chávez<sup>1\*</sup>, William Sarache<sup>2</sup>, Yasel Costa<sup>3,4</sup>

(1) Universidad Libre Seccional Pereira, Colombia.

(2) Universidad Nacional del Colombia, Colombia.

(3) Fundación Zaragoza Logistics Center, Zaragoza, Spain

\*Correo electrónico: marcelam.moralesc@unilibre.edu.co

### Abstract

Biofuels have been proposed as a potential solution for climate change mitigation. However, the high logistics costs of this supply chain have put the viability of its commercialization at risk. This research proposes a model for the design of a sustainable lignocellulosic biomass supply chain, in which location decisions are integrated with those of inventory, in a multiperiod, multiproduct problem. Regarding localization decisions, facilities may be established during time periods different from the initial period. Additionally, they may experience a process of capacity expansion during the planning period. Utilizing the  $\epsilon$ -restriction method, a series of chain configurations were obtained for ethanol production, using coffee waste. The results allow for observation of the model's flexibility in the time periods in which facilities may be opened. Additionally, the advantages of expanding capacities in existing facilities, and avoiding the need to open new facilities, are presented.

*Keywords:* biofuels; inventory-location problem; supply chain design.

## Modelo matemático para la programación de horarios de cursos de una institución de educación del nivel superior en México

Nancy M. Arratia Martínez<sup>1\*</sup>, Cristina Maya Padrón<sup>2</sup> y Paulina A. Ávila Torres<sup>1</sup>

(1) Universidad de las Américas Puebla, San Andrés Cholula, Puebla.

(2) Universidad Politécnica de García, García, Nuevo León

\*Correo electrónico: nancy.arratia@udlap.mx

### Resumen

La programación de horarios es un problema que surge en muchas organizaciones e instituciones del sector público y privado, en el caso de instituciones educativas, puede ser clasificado de acuerdo al tipo de horario que se desea generar. Entre ellos, programación de horarios de exámenes, horarios de cursos, asignación de profesores, asignación de espacios, entre otros.

En este trabajo se aborda el problema de programación de horarios y asignación de docente en una institución educativa del nivel superior.

Las características consideradas son: profesores de contratación permanente que tienen una carga mínima de cursos de acuerdo a su perfil académico y profesores de contratación temporal; se define una matriz profesor-curso que indica las materias de acuerdo a su disciplina, existen restricciones de horarios para los cursos de distintos semestres, los cursos de un mismo semestre no se deben asignar en un mismo horario, entre otras restricciones. Se presenta un modelo de programación lineal entero con variables binarias para el caso de estudio, así como la solución del mismo.

*Palabras Clave:* Programación de horarios; Programación lineal entera.



## Planificación a largo plazo en las operaciones de corte en la fabricación de muebles

Marta Cabo<sup>1\*</sup>

(1) ITAM, México

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

### Resumen

En este trabajo se presenta un problema de corte y empaquetamiento bidimensional que optimiza el uso de materia prima en una fábrica de muebles. Dado que el material proviene de una fuente natural, como son las planchas de contrachapado de madera, pueden presentar defectos. Estos defectos afectan la cantidad de materia prima disponible en cada plancha, ya que no siempre se pueden incluir en las piezas finales. La heurística presentada en este trabajo, muestra la mejor manera de tratar con los defectos. También consideramos el uso de las planchas de contrachapado en una planeación a largo plazo, dado que la compra de materia prima normalmente se realiza de forma periódica, y las existencias deben ser suficientes para completar la demanda de varias semanas.

*Palabras Clave:* Corte y Empaquetamiento; Heurísticos; Planeación de la producción.

## Administración del inventario de un banco de sangre usando simulación

José L. Hernández A.<sup>1\*</sup> y Zaida E. Alarcón B.<sup>1</sup>

(1) Dpto. de Ingeniería en Sistemas Biomédicos, Facultad de Ingeniería, UNAM.

\*Correo electrónico: joseph88.ss@gmail.com

### Resumen

La sangre es un tejido líquido que es soporte básico de vida. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2019), la transfusión de sangre y sus componentes contribuyen a salvar millones de vidas, permitiendo aumentar la esperanza y la calidad de vida de pacientes con enfermedades mortales y llevar a cabo procedimientos médicos y quirúrgicos complejos, además de desempeñar un papel fundamental en la atención materno-infantil, los desastres naturales y los accidentes (Salud, 2015).

Uno de los factores que influye en la atención médica, es la disponibilidad de sangre y derivados en la cantidad necesaria y con características de calidad y seguridad que garanticen el cumplimiento de las normas de salud vigentes (Mejía Domínguez, 2018). De acuerdo con la Pan American Health Organization (2012), los bancos de sangre identificarán y proveerán los requerimientos de recursos humanos, financieros, físicos y materiales necesarios para realizar y verificar toda actividad que afecte la calidad de los productos y servicios.

La sangre es un bien perecedero que tiene un papel fundamental en la entrega de los servicios de salud, por ello, en este trabajo se propone una administración del inventario de sangre (no se consideran componentes) de un banco de sangre en una institución de salud ligado a la sala de urgencias, donde reside un consumo determinante en la actividad diaria.

Se desarrolló un modelo conceptual que esquematiza las características principales de funcionamiento de un banco de sangre y su inventario. Así ayudados del software Simio, se estableció un sistema de simulación basado en teoría de colas que modelaba el funcionamiento de dicho banco para lograr vislumbrar las cantidades objetivo que sangre en inventarios que permita un flujo constante de dicho bien debido a su característica perecedera y disminuir las solicitudes de sangre a otros bancos en caso de emergencia, ya que uno de los principales problemas es la escasa contribución de personas donantes,

Se utilizaron algunas herramientas de optimización del mismo software para obtener valores que indican la cantidad mínima de sangre en inventarios y el número de litros de sangre que debe solicitarse de forma regular para garantizar el suministro fiable y suficiente.

Tener un control correcto de este inventario permite reducir considerablemente los gastos del servicio, así que el modelo contribuye positivamente al desarrollo de los sistemas de salud. Es importante tener claro que estos sistemas están en constante evolución y se debe tener un enfoque flexible que muestre claramente las posibilidades de adaptación a nuevas circunstancias que no mermen en ningún sentido o incluso cancelen el servicio entregado a los pacientes, pues finalmente la salud involucra vidas humanas y ninguna de ellas es prescindible.

### Referencias

Secretaría de Salud. La donación de sangre contribuye a salvar vidas. México Sano, 3(2), 2015.

Ana María Mejía Domínguez. Banco de Sangre, 2018. URL <https://www.cardiologia.org.mx/atencion-medica/banco-de-sangre/>.

Organización Mundial de la Salud OMS. Disponibilidad y seguridad de la sangre a nivel mundial, 2019. URL <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/blood-safety-and-availability>.

Pan American Health Organization. Estándares de trabajo para servicios de sangre. 2012. ISBN 978-92-75-31643-6. OCLC: 908845981.

Miquel Angel Piera. Modelado y simulación. Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios, volumen 118. Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica, 2004.

Jeffrey S Smith, David T Sturrock, and W David Kelton. Simio and simulation: modeling, analysis, applications. Simio LLC, 2017.

## Hacia un simulador de control de adicciones basado en un sistema dinámico

Ricardo Rosales<sup>1\*</sup>, Nora Osuna Millan<sup>1</sup> y Juan Antonio Meza-Fregoso<sup>1</sup>

(1) Universidad Autónoma de Baja California

\*Correo electrónico: ricardorosales@uabc.edu.mx

### Resumen

Las adicciones son un problema social local, regional, nacional e internacional, donde es mejor implementar estrategias de prevención y apoyo a los grupos vulnerables y de riesgo, la detección de factores de riesgo y de protección presentan un panorama que nos permite emitir un tratamiento adecuado que permita implementar las intervenciones necesarias y fortalecer los factores protectores y minimizar-reducir los Factores de riesgo, todo ello enfocado a evitar la ejecución de acciones cuando el problema ya es grave, que resulta un proceso costoso para la sociedad, familia e instituciones públicas. La simulación social es adecuada para el análisis de los fenómenos sociales que son inherentemente complejos; si bien la idea de la simulación ha tenido enorme influencia en la mayoría de las áreas de la ciencia, incluso en la programación de juegos, donde ya hay una emulación de las sociedades teniendo un impacto significativo en las ciencias sociales. Este avance se produjo cuando se dieron cuenta de que los programas computacionales ofrecen la posibilidad de crear artificialmente sociedades en las que las personas y actores colectivos, pueden ser organizaciones representadas directamente y observar el efecto de sus interacciones [1]. Esto proporciona la posibilidad de utilizar métodos experimentales con los fenómenos sociales, y la utilización de código de computadora como una manera de formalizar las teorías dinámicas sociales[2]. El presente artículo propone un simulador computacional basado en un sistema dinámico que reproduzca distintos contextos que ayudan a determinar el control de adicciones en adolescentes a nivel secundaria. El simulador contempla variables involucradas con el fin de conocer causas y efectos a través del tiempo. El conocer las causas y efectos permite la toma de decisiones correcta en la búsqueda de la prevención, pronóstico y control de adicciones.

*Palabras Clave:* Simulador, Sistema Dinámico, Adicciones.

### Referencias

[1] Castañón-Puga M. Social systems simulation person modeling as systemic constructivist approach. *Soft Computing for Hybrid Intelligent Systems.*, pages 231-249, 2008.

[2] B. Pristker A. Why simulation works. *Proceeding of the 1989 Winter Simulation Conference*, 1989.

## Implementación de una herramienta lean para la mejora de procesos en un banco de leche

Edgar A. Hernández Tirado<sup>1\*</sup>, Elizabeth Laguna Romero<sup>1</sup> y Zaida E. Alarcón Bernal<sup>1</sup>

(1) Dpto. de Ingeniería en Sistemas Biomédicos, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

\*Correo electrónico: edgarhtw@icloud.com

### Resumen

Abstract: El Banco de Leche Humana es un servicio especializado, responsable de las acciones de promoción, protección y apoyo a la lactancia materna; así como de actividades de recolección de la producción láctea de las madres y donantes, de su procesamiento, almacenamiento, control de calidad, distribución para el beneficio de los recién nacidos y como apoyo a hospitales que no cuenten con este servicio para la recolección de leche materna, su procesamiento y devolución ((Secretaría de Salud)).

La importancia del banco de leche radica en que su objetivo es promover la lactancia materna y erradicar el uso de formulas lácteas, ya que es de vital importancia para el recién nacido, contribuyendo a un buen desarrollo y siendo el principal refuerzo del sistema inmunológico.

En el banco de leche estudiado se identificaron tres procesos principales: la recolección de la producción láctea, el procesamiento y el almacenamiento para su posterior distribución interna y externa. Se analizaron los procesos de un banco de leche de un hospital de segundo nivel en México, con la herramienta de gestión visual denominada mapeo del flujo de valor (value stream mapping), para identificar la situación actual de tres procesos relevantes y se hizo una propuesta para su mejora.

El objetivo del trabajo es hacer una propuesta de mejora para cada proceso con la intención de optimizar el uso de recursos, tiempo y costos utilizando mapas de flujo de valor. Se desarrollan los mapas de estado actual y se hace una propuesta de estado futuro para los procesos de recolección, procesamiento y almacenamiento.

### Referencias

El IMSS abre primer banco de leche materna para recién nacidos, Sitio Web “Acercando el IMSS al Ciudadano”. URL <http://www.imss.gob.mx/prensa/archivo/201707/207>.

Mónica Barros de Pontes, Franco Santos, Tania Cristina, André Luis Lima Nogueira, María Angélica de Almeida Peres, María Zilma Rios, and Antonio José de Almeida Filho. Banco de leite humano: Desafios e visibilidade para a enfermagem. *Texto & Contexto Enfermagem*, 26(2), 2017.

Francisco Eudison da Silva Maia, José Rogelio de Sousa Almeida, Antonia Verdísimo da Silva de Medeiros, Lorena Bezerra de Oliveira, et al. A importância do banco de leite humano: um relato de caso em. *Revista da Faculdade de Ciências Médicas de Sorocaba*, 16(4):188-192, 2014.

Thomas L Jackson. *Mapping clinical value streams*. Productivity Press, 2016.

EDOMEX Secretaría de Salud. Bancos de Leche Humana.

Sumedico Portal. Proceso del Banco de leche materna del INPER.

## Localización de centros de tratamiento para obesidad y enfermedades crónico-degenerativas

Eli Gerardo Zorrilla Uribe<sup>1\*</sup> y Zaida E. Alarcón Bernal<sup>1</sup>

(1) Dpto. de Ingeniería en Sistemas Biomédicos, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

\*Correo electrónico: gerardo.zor98@gmail.com

### Resumen

La obesidad y sobrepeso se han convertido en una pandemia en las generaciones actuales de mexicanos que ha afectado a la mayoría de la población, sin diferenciar por estratos de género, grupos de edad, e incluso entidad federativa. De acuerdo a datos de la ENSANUT 2012, el 9.7 % los menores de 5 años son obesos, de la población en edad escolar (5-11 años) 34.4 % lo son. En los adolescentes (12-19) más de una tercera parte sufría estas condiciones (35 %) y en adultos fue de (71.3 %), lo que representa 48.6 millones de personas. Sin embargo el inconveniente no termina con las cifras de afectados, diversos estudios vinculan a la obesidad y sobrepeso como un factor de influencia muy grande para el desarrollo de enfermedades crónico degenerativo (ECNT), pues se estima que las ECNT en México causaron el 75 % total de muertes y 68 % de los años de vida potencialmente perdidos.

Este padecimiento y sus implicaciones resultan en una carga económica no productiva o sin resultados, para el Sistema Nacional de Salud (SNS) y el sistema económico productivo en general, ya que el padecimiento se encuentra afectando principalmente a la población económicamente productiva, lo que resulta en altos números de Años de Vida Saludable Perdidos (AVISA), por lo que se vuelven una carga para el SNS: de acuerdo a cifras de la Secretaría de Salud en 2012 la atención a de obesidad y complicaciones fueron de 42 mil millones de pesos y la pérdidas por improductividad fue de 25 mil millones de pesos, donde este dinero se paga de los contribuyentes, sin considerar la carga pérdida por familiares que se dedican al cuidado del enfermo y otros factores interesantes que son afectados por la obesidad.

Por ello en este trabajo utilizamos los datos para hacer un pronóstico de la población con obesidad y sobrepeso dando énfasis a las que desarrollan sobrepeso, riesgo cardiovascular y diabetes, para desarrollar una propuesta para la localización de instalaciones médicas especializadas en estos padecimientos, con el fin de colocar un conjunto de sedes para los tratamientos integrales que se enfoquen en la prevención adecuada y multidisciplinaria de la obesidad, impactando en los distintos grupos sociales y de edad afectados. En el que igualmente se brinde un correcto diagnóstico y tratamiento de las enfermedades e implicaciones de la obesidad y sobrepeso para evitar las futuras complicaciones.

Se utiliza un modelo de localización en redes, cuyos resultados permitirán a los diseñadores del sistema considerar diferentes decisiones estratégicas en el diseño y la gestión de las redes de servicios de salud desde perspectivas de costo y cobertura.

### Referencias

Amir Ahmadi-Javid, Pardis Seyedi, and Siddhartha S Syam. A survey of healthcare facility location. *Computers & Operations Research*, 79:223-263, 2017.

Luce Brotcorne, Gilbert Laporte, and Frédéric Semet. Ambulance location and relocation models. *European Journal of Operational Research*, 147(3):451 - 463, 2003.

Mark S Daskin. *Network and discrete location: models, algorithms, and applications*. John Wiley & Sons, 2011.

Víctor Manuel García Guerrero. Pronostico estocástico de la población mexicana utilizando modelos de datos funcionales. realidad, datos y espacio. *Revista Internacional de Estadística y geografía*, 18-33, 2014.

INSP. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012, 2012. URL <https://ensanut.insp.mx/>.

Rafael Lozano, Héctor Gómez-Dantés, Francisco Garrido-Latorre, Aída Jiménez-Corona, Julio Cesar Campuzano-Rincón, Francisco Franco-Marina, María Elena Medina-Mora, Guilherme Borges, Mohsen Naghavi, Haidong Wang, et al. La carga de enfermedad, lesiones, factores de riesgo y desafíos para el sistema de salud en México. *salud pública de México*, 55(6):580-594, 2013.

SS. *Manual de implementación sobrepeso, riesgo cardiovascular y diabetes*, 2015.

## Valor del tiempo de carga en carretera

Ing. Héctor Guadalupe Muñoz Esquivel<sup>1\*</sup> y Dr. Aceves García Ricardo<sup>1</sup>

(1) Facultad de Ingeniería, UNAM Posgrado en Sistemas.

\*Correo electrónico: gerardo.zor98@gmail.com

### Resumen

La literatura del estudio del valor del tiempo para tránsito de pasajeros es bastante nutrida. En cambio, se ha estudiado poco el fenómeno del valor del tiempo del transporte de carga por carretera. El Instituto Mexicano del transporte tiene una metodología para el cálculo del valor del tiempo, pero lo hace tomando en cuenta únicamente el ingreso y no contempla el valor de la carga. En este artículo se trata de asignarle un valor al ahorro del tiempo de viaje de transporte de carga (VFTTS “Value of freight time travel savings” por sus siglas en inglés). Es importante que las condiciones de la infraestructura carretera se mantengan en óptimas condiciones lo cual permite a las empresas una disminución en sus gastos de operación y representa un ahorro social importante.

*Palabras Clave:* Valor del tiempo; valor de la carga; VFTTS.

## Packing circles and unequal rectangles as mixed integer non-linear models using formulation space search

Claudia López<sup>1\*</sup> and John E. Beasley<sup>2</sup>

(1) Facultad de Ciencias, UNAM.

(2) Brunel University, UK.

\*Correo electrónico: claudia.lopez@ciencias.unam.mx

### Abstract

In this work we present the packing problem as a mixed integer non-linear programming problem which is solved using a heuristic called formulation space search.

The packing problems that we solved consider a circular container, as for the objects to be pack we have two different shapes: circles and squares/rectangles. Each case is considered in an independent manner. The mathematical model that describes the packing problem may take two different objectives, maximize the objects to be packed or maximize the total area covered by the objects to be packed. In both cases, the size of the objects is fixed. Here we introduce an element of choice; the object may or may not be packed. Hence, it is possible that not all the objects considered to be pack will be in the final arrangement. We show how we managed to eliminate a maximization term that arise in one of the constraints of our formulation when working with the rectangle/square case. Computational results are presented for the test instances considered.

*Keywords:* Packing Problem; Mixed Integer Non-Linear Program; Formulation Space Search

## Aplicación de Value Stream Map (VSM) con simulación: un caso de estudio

Mariana Vargas<sup>1\*</sup>, Lourdes Loza<sup>2</sup>, José Luis López<sup>1</sup> y Marlenne Cruz<sup>1</sup>

(1) Facultad de Ingeniería, UAEMex, Toluca, Edo. Méx.

(2) Estancia Posdoctoral de CONACYT, Facultad de Ingeniería, UAEMex, Toluca, Edo. Méx.

\*Correo electrónico: mariana\_v\_sanchez@hotmail.com

### Abstract

Actualmente la Cadena de Suministro de cualquier sector debe ser competitiva ante las exigencias del mercado global, debido a ello identificar sus fortalezas y debilidades en sus procesos a través de métodos de evaluación cuantitativa, logrando la competitividad requerida. Existe una gran variedad de herramientas que permiten evaluar una cadena de suministro y detectar los procesos en los cuales es necesario realizar mejoras, para lograr los objetivos de las empresas. Una de estas herramientas es Value Stream Map (VSM) el cual permite identificar aquellos procesos que no generan valor al producto en la cadena de suministro. El objetivo del presente trabajo es evaluar el proceso de producción de una empresa dedicada a la elaboración de productos artesanales (rama cerámica de alta temperatura). Para ello es importante analizar la situación actual del proceso de producción a través de la aplicación de VSM y proponer alternativas de mejora enfocadas a satisfacer la demanda del cliente, la cual actualmente no se cubre. Las propuestas de mejora son simuladas a través del software de simulación Arena Versión 14.0. Los resultados del modelo de simulación muestran que la integración de recursos en el proceso de producción, alcanza a cubrir la demanda pronosticada.

*Keywords:* Proceso de producción; Value Stream Map; Simulación; Arena.



## Implementación de la metodología DMAIC en una empresa metalmecánica

Guillén J.<sup>1\*</sup>, Wellens A.<sup>1</sup>

(1) Facultad de Ingeniería, UNAM-MÉXICO

\*Correo electrónico: jj\_19@live.com\* y wann@unam.mx

### Abstract

En la actualidad, el tema de la calidad en todas las industrias es un factor muy importante, para lograr posicionarse en los primeros lugares de su mercado y ser líderes en sus ramos. Por esta razón es importante adoptar una estrategia de mejora continua, que es fundamental para lograr alcanzar el mayor aprovechamiento de todos los recursos y ofrecer un mejor producto o servicio al cliente. Este artículo pone en práctica la metodología DMAIC para disminuir el porcentaje de defectos en una empresa mexicana dentro de la rama de la metalmecánica. Con la implementación de la metodología DMAIC en una empresa metalmecánica, se logró disminuir la variabilidad de sus procesos y aumentar el aprovechamiento de sus recursos, obteniendo un mejor manejo de material, un proceso estable y la identificación oportuna de defectos con el fin de evitar procesos innecesarios que aumentan costos en sus líneas de producción.

*Keywords:* Mejora continua, Seis sigma, Calidad, Procesos.

## Optimización del Inventario en un Sistema de Bicicletas Compartidas

Esteban Castillo<sup>1\*</sup> y Edgar Possani<sup>1</sup>

(1) Departamento Académico de Matemáticas, ITAM, Ciudad de México.

\*Correo electrónico: est\_92@hotmail.com\* y epossani@itam.mx

### Resumen

En este trabajo se presenta un modelo para optimizar el balanceo de inventario de un sistema de bicicletas compartidas. Se aplica con datos reales de Ecobici de un número específico de estaciones en la zona de Polanco de la Ciudad de México para realizar un re-balanceo estático (durante un periodo definido del día). Se define una función de satisfacción que toma en cuenta la probabilidad de hallar bicicletas disponibles y espacios libres para dejarlas en cada estación. Se optimiza una función ponderada de la satisfacción y el tiempo total de la ruta para llevar a cabo la carga y descarga con un vehículo al resolver un problema de programación lineal mixto entero. Los resultados sugieren que es posible realizar una optimización del re-balanceo de inventario en un sistema de bicicletas compartidas con mínimos recursos.

*Palabras Clave:* Sistema de Bicicletas Compartidas; Optimización de Inventarios; Programación Lineal Mixta Entera; Función de satisfacción; Procesos Estocásticos..

## Optimization model for a sustainable sugarcane irrigation system at Altas Montañas Area, Veracruz, Mexico

Ana Laura Piña-Martínez<sup>1\*</sup>, Miguel Ángel Solís-Jiménez<sup>2</sup>, Jaime Mora-Vargas<sup>1</sup> y Roberto Castañeda-Maya<sup>1</sup>

(1) Tecnológico de Monterrey, Atizapán, Estado de México.

(2) Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Huatusco, Veracruz.

\*Correo electrónico: A01318253@itesm.mx

### Abstract

This document presents an optimization model based on Mixed Integer Linear Programming, which allows optimizing the number of hydrants used in an irrigation system for sugarcane sowing, in order to cover the maximum area of land with the minimum number of them. As a second phase, a minimum spanning tree is used to connect hydrants in order to minimize the pipe length used. Currently, the methods used to establish irrigation systems may not be totally efficient, due to the investment may be greater than necessary, and consequently, more hydrants are acquired than required. The coverage models in the literature take for granted the regularity of the perimeter and the areas where it is developed, a situation that is not always possible so that the developed model seeks to overcome this complication considering the irregularity of the land where it is sought to optimize the irrigation system. In addition, problems of soil saturation can arise or the number of hydrants can be underestimated, which means that the benefits of the irrigation system are not adequately utilized. This methodology was implemented in a case study at Altas Montañas, Veracruz Mexico a reduction on the hydrants of 42.11 % was reached while 33.96 % on pipeline use.

*Keywords:* Agro-optimization; Operational research; Irrigation network.

## Hacia un Simulador para la predicción de adicciones en Tijuana Baja California

Nora Osuna-Millan<sup>1\*</sup>, Ricardo Rosales<sup>1</sup> y Juan Antonio Meza-Fregoso<sup>1</sup>

(1) Universidad Autónoma de Baja California

\*Correo electrónico: nora.osuna@uabc.edu.mx

### Abstract

Se propone un Simulador computacional que reproduzca distintos contextos que apoyaran en la determinación del aumento o disminución de los factores de protección y de riesgo de los adolescentes en los diversos ámbitos en que se desarrolla, entre ellos el biológico, psicológico y social. El simulador permite crear estrategias que promueven la comprensión de los factores, escenarios, actitudes involucradas en las adicciones y tratarlos por medio de la Complejidad [1]. También contempla diversas variables con el fin de conocer causas y efectos a través del tiempo. El conocer las causas y efectos permite la toma de decisiones correcta en la búsqueda de alcanzar los objetivos y metas trazadas en el menor tiempo posible, ello permitirá generar una estrategia que maximice los resultados de la intervención a casos particulares que presentan alto riesgo en el desarrollo de adicciones. En estudios realizados el Observatorio Estatal de Adicciones (OEA) en los periodos del 2004 al 2012, detecta el siguiente patrón de comportamiento en la población en Baja California la prevalencia de consumo de sustancias psicoactivas: en 2004 hubo una prevalencia a nivel estatal de 25.90 %, 2005 de 33.60 %, 2006 con 50.8 %, en 2007 se encontró 47.21 %, en el año 2008 se obtuvo 36.27 %, 2009 36.67 % mientras que en 2010 41.42 %, disminuyó en 2011 a 39.44 %, en el año 2006 se encontró el índice más alto de prevalencia, lo cual indica un periodo de disminución del consumo hacia los años más recientes. El imperativo de atención a la salud mental relacionada con las adicciones debe ser idónea, adecuada, estratégica, y aplicada en tiempo y forma para mejorar la salud pública de la población involucrada. La atención en base a la detección de factores de riesgo que prevalecen en diversos casos y algunos que aparecen en casos particulares permitirá al simulador hacer un esquema predictivo de los resultados que a través del tiempo y con la inclusión de factores protectores y/ o de riesgo pueda suceder con casos similares o específicos, obteniendo así de una manera temprana y casi inmediata los casos que requieren atención urgente.

Las adicciones son un problema social en los ámbitos local, regional, nacional e internacional, donde es mejor implementar estrategias de prevención y apoyo a los grupos vulnerables y de riesgo, la detección de factores de riesgo y de protección presentan un panorama que nos permita proporcionar un tratamiento adecuado que permita implementar las intervenciones necesarias y fortalecer los factores protectores y minimizar-reducir los Factores de riesgo, todo ello enfocado a evitar la ejecución de acciones cuando el problema ya es grave, que resulta un proceso costoso para la sociedad, familia e instituciones públicas.

En base a los patrones y resultados observados en los estudios realizados por el OEA, se observa que existe una problemática compleja [1], por tal motivo con apoyo de tecnologías de información se desarrollará un Simulador Social Computacional. La metodología seleccionada para la implementación de un modelo de desarrollo de software es una híbrida, esto es una combinación de la metodología Tradicional [2] y la metodología Agile [3] lo anterior permitirá controlar eficientemente y de manera específica la información inicial, pero la relación con el o los actores principales será fundamental para concluir con éxito cada uno de los Sprints (fases en que se desarrollaran las funcionalidades), lo anterior permite una revisión aceptación de fases anteriores y/o retroalimentación con las nuevas.

### Referencias

[1] Gallardo Cano A. y Almanza S. I. Lara-Rosano F. J. Teorías, métodos y modelos para la complejidad social. Proceeding of the 1989 Winter Simulation Conference, 2017.

[2] PMIInstitute. Fundamentos para administración de proyectos (guía del pmbok. PMIInstitute, 2013.

[3] ScrumStudy. Scrum body of knowledge. ScrumStudy, 2013.

## A comparative study of open source programming languages to implement variance-covariance matrix for portfolio diversification

Carlos Rodríguez Contreras<sup>1\*</sup> y Katya Rodríguez Vázquez<sup>1</sup>

(1) Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas Universidad Nacional Autónoma de México

\*Correo electrónico: crc@unam.mx

### Abstract

The purpose of this paper is to present the results of a comparative study between the 4th generation programming languages Python and R that was carried out with the purpose of knowing the advantages and disadvantages of them to support decision making for Investment Portfolio selection. The study considered aspects such as the ability to collect data from providers of financial data on the Internet; the speed to identify, clean and manipulate the data to produce Variance-Covariance matrices that allow for a rapid decision making regarding the components of an investment portfolio. Variance-Covariance matrices have demonstrated to be useful for analyzing the returns of an investment portfolio. They are indeed invaluable tools for financial analysts, but they appear to be obscure math concepts for those who invest in the financial markets. Because of that, we also analyse the ease of use of such tools for investors. We found that, although being part of the realm of the Quants, as they are currently, Variance-Covariance matrices could be used by financial analysts with less training in computer programming. These analysts can find useful to learn they both programming languages reviewed in this research, that are indeed high-level programming languages. Python and R are the two languages currently in controversy for the position as the most useful for Data Science. They both have pros and cons discussed here. No one prevails over the other, instead, they complement each other as we found in this study. By knowing these programming languages, financial analysts could acquire a strategic advantage to operate in the current stock markets arena.

*Keywords:* Variance-Covariance Matrix; Shrinkage Estimation; Financial Analytics.

## Evaluación de diferentes medidas de error aplicada al sistema de predicción de ventas de empresas proveedoras de productos químicos

Ma. Del Rocio Castillo Estrada<sup>1\*</sup> y Marco Edgar Gomez Camarillo<sup>1</sup>

(1) Facultad de Ciencias Básicas Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Tlaxcala.

\*Correo electrónico: [madelrocio.castillo@uatx.mx](mailto:madelrocio.castillo@uatx.mx) y [megc1959@gmail.com](mailto:megc1959@gmail.com)

### Resumen

Considerando que la elección del mejor modelo de pronóstico dependiera en gran medida del indicador de precisión elegido (Tofallis, 2015) y que Knuppel (2018) menciona que los errores se emplean con frecuencia en la estimación del pronóstico. La evaluación de diferentes medidas de error aplicado al sistema consistió en: 1). Se utilizaron datos de ventas reales en el Sistema que predice las ventas mediante el uso de un software que esta escrito en lenguaje PHP y HTML, y lee los datos de ventas históricas de los productos de las empresas en estudio, calcula seis técnicas de predicción: Promedio Móvil Simple (PMS), Promedio Móvil Ponderado (PMP), Proyección de la Tendencia (PT), Suavizamiento Exponencial (SE), Regresión Lineal Simple (RLS) y Doble Promedio Móvil Ponderado (DPMP), calcula el error para cada técnica, selecciona la del error mas bajo para realizar la predicción del mes siguiente, grafica los resultados y los valores reales. 2). Con los resultados del Sistema, se evaluaron 7 medidas de error; Error Porcentual Medio (MPE), Error Cuadrado Medio (MSE), Error Absoluto Medio (MAE), Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE), Error Escalado Absoluto (MASE), Error Simétrico Porcentual Absoluto Medio (SMAPE) y MAAPE Error Porcentual Absoluto Arco tangente para seleccionar la mas adecuada para evaluar las técnicas de pronóstico utilizadas. La tabla 1 resume algunos resultados.

[PRODUCTO]	[MAE]	[MPE]	[MAPE]	[MSE]	[SMAPE]	[MAAPE]	[MASE]
1	85814.8558	0.0746	0.1192	1.0959E+10	0.0655	0.1181	7.1165
2	27760.5992	0.2244	0.2874	1193329883	0.1870	0.2742	8.6991
3	34126.6950	-0.1266	0.1606	2361142028	0.0592	0.1457	5.2589
4	23155.8400	-0.0810	0.2107	885494877	0.0865	0.1943	3.7276
5	63936.5742	0.0406	0.1682	6761335790	0.0919	0.1639	4.7382
6	1946.2725	INFINITO	INFINITO	6148626.36	0.2717	0.1309	1.5998
7	14718.5758	-16.8815	17.3872	292112472	0.4858	0.9810	2.4313
8	5945.0692	INFINITO	INFINITO	60708895.9	0.3277	0.1309	8.4584
9	1158.8900	-1.4686	1.6732	2031874.97	0.2610	0.6384	2.1960
10	11449.6742	-2.9263	3.3949	270858628	0.4240	0.6229	1.7945
11	18728.6733	0.1716	0.4257	502037323	0.2527	0.3806	7.3124

3). Se actualizó el software considerando lo anterior. Actualmente el sistema está registrado en SEP-INDAUTOR (Secretaria de Educación Pública-Instituto Nacional de Derecho de Autor), con el registro público número de folio 03-2016-042510554500-01. La técnica propuesta DPMP resulto ser la mejor para el 80% de los productos químicos que se estudiaron y la mejor medida de error para este tipo de predicciones resulto ser SMAPE. El sistema que se desarrollo se puede utilizar para cualquier tamaño de empresa: chica, mediana, o grande; solo cambiando el tamaño de la matriz de datos que depende del número de productos a los que se les va a pronosticar las ventas.

### Referencias

Tofallis C. (2015) A better measure of relative prediction accuracy for model selection and model estimation. Journal of the Operational Research Society. doi:10.1057/jors.2014.103.

Knuppel, M. (2018) Forecast-error-based estimation of forecast uncertainty when the horizon is increased International Journal of Forecasting, Elsevier vol. 34(Issue 1):105-116, 2018.

Adya, M. and Collopy, F. (1998) How effective are neural networks at forecasting and prediction? A review and evaluation Journal of Forecasting, vol. 17(No. 5-6):481-496, 1998.

Chase, B. R. y Jacobs F. R. (2014). Administración de operaciones. Producción y cadena de suministro. Mc Graw Hill Education, México D.F., 2014.

## La Complejidad y la Simplicidad Inherente Hacia la unificación de la Programación Lineal y la Teoría de Restricciones

Jorge Martínez Ibarra<sup>1\*</sup>

(1) UAG

\*Correo electrónico: jorge.martinez@edu.uag.mx

### Resumen

Este artículo tiene como propósito la discusión sobre la unificación de la teoría de la programación lineal (PL) que representa la complejidad inherente (muchas interacciones) y la teoría de restricciones (TOC) que representa la simplicidad inherente (pocas interacciones). Los expertos consideran la programación lineal como una técnica de optimización y la teoría de restricciones como una filosofía administrativa. Estas teorías se han considerado con diferencias y con similitudes. A través de un ejemplo cualquiera documentado de programación lineal y el modelo cuantitativo de un sistema flexible de manufactura de cuello de botella que se muestra y representa los supuestos de la TOC. Es decir en dicho modelo matemático se cumplen los cinco pasos de la TOC, identifica la restricción o el cuello de botella del sistema de producción que gobierna la eficiencia global del sistema y los pasos restantes de TOC: decidir, subordinar, elevar, regresar giran alrededor del cuello de botella o restricción. Es decir, existe relación  $R_p$ \*razón de producción del cuello de botella y su porcentaje de mezcla de sus productos  $P_j$  con la formulación de una programación lineal y solución óptima por método simplex que es representada por la forma de una matriz la inversa solución que multiplica al vector de términos independientes  $b$  considerando las mismas unidades de la capacidad en ambos. Es decir, el modelo propuesto para analizar la unificación PL y TOC. La solución óptima por el método simplex representada por la matriz inversa multiplicada por el vector de términos independientes igual al modelo de cuello botella de sistemas flexibles de manufactura representado por el producto razón de producción cuello de botella por su porcentaje de mezcla de los productos. Lo anterior representado por el modelo matemático es solución óptima:  $A^{-1} b = R_p * P_j$ . Se llega a la conclusión que existe solo a una restricción única representada por  $R_p$  y el porcentaje de mezcla de los productos  $P_j$  dan la solución de la mezcla óptima para  $n$  variables. Así es pues utilizando el método simplex de la programación lineal y el modelo del sistema flexible de manufactura de cuello de botella abre la discusión sobre la unificación de ambas teorías. Los supuestos de TOC son válidos para PL y los supuestos PL son válidos para TOC adecuando los conceptos de restricción única y el concepto del tróput igual a flujo por utilidad o flujo por costo (tróput) si se maximiza o minimiza respectivamente. Esta unificación de estas teorías impacta de manera significativa la productividad de las organizaciones.

### Referencias

HSU, T.C.; CHUNG, S.H. The TOC-based algorithm for solving product mix problems. *Production Planning & Control*. Vol 9, n. 1, p. 36-46, 1998.

MIKELL P. GROOVER. *Automation, Production system, and Computer-Integrated Manufacturing*. New Jersey. Prentice Hall. 2001.

VERMA, R. *Management Science, Theory of Constraints/Optimizing Production Technology, and Local Optimization*. *International Journal of Management Science*, Vol. 25, n.22, p. 189-200, 1997.

## Evaluation of Public HEI on Teaching, Research, and Knowledge Dissemination by Data Envelopment Analysis

Luis A. Moncayo–Martínez<sup>1\*</sup>, Adrián Ramírez–Nafarrate<sup>2</sup> y María Guadalupe Hernández–Balderrama<sup>1</sup>

(1) Department of Industrial Engineering and Operations, ITAM, Río Hondo 1, Ciudad de México 01080, México

(2) Escuela de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad Panamericana, Alvaro del Portillo 49, Zapopan, Jalisco, 45010, México

\*Correo electrónico: luis.moncayo@itam.mx

### Abstract

Governmental policies, such as educational ones, require money from taxes to implement them. Therefore, a government must spend its resources in such a way to maximise the benefits. However, to evaluate the Public Higher Education Institutions (P–HEI) is a very complex task since many factors that can be assessed are involved. In this study, we focus on the performance of P–HEI in three activities: teaching, research, and knowledge dissemination. To accomplish this end, we develop a Data Envelopment Analysis Model to evaluate the efficiency of each activity, separately. Using an official database called ExECUM, we compute the efficiency of 40 Mexican P–HEI from year 2008 to 2016. The funds allocated for the government is an input in our study.

According to our results, most P–HEIs are efficient in only one activity, while few are efficient in two activities. Only one P–HEI reached efficiency of 100% in the three models. On the other hand, 37.5% of the P–HEI do not reach 100% efficiency in any model. Our study provides the set of references for each P–HEI and the increments/decrements in the inputs and outputs to increase its efficiency.

*Keywords:* Efficiency; Higher Education Institutions; Data Envelopment Analysis